énerSage

Pour l'industrie
et le commerce

ÉCONOMIES GRÂCE À UNE UTILISATION EFFICACE DE LA VAPEUR ET DE L'AIR COMPRIMÉ

6

Énergie, Mines et Ressources Canada
Bureau de la conservation de l'énergie

Energy, Mines and Resources Canada
Office of Energy Conservation

92-06186/

Comité de rédaction

M. R.A. Kennedy, Canadair

M. Berno Wenzl, Inco

M. Art Bacon, General Foods

M. Harry M. Sochan, Polysar

M. G.S. Duffus, Westinghouse Canada

M. T. Toomes, Canron

M. E.C. Clark, General Motors du Canada

M. Harry Pearce, General Motors du Canada

M. Jack Layne, Shell Canada

M. François Litalien, Cleyn and Tinker

M. Gerry McParland, John Deere Welland Works

R.C. Walterson, Thames Valley Beverages Ltd.

M. A.C.S. Hayden, Laboratoire canadien de recherche sur la combustion

Table des matières

Introduction	1
Exploitation de la vapeur	1
Exploitation de l'air comprimé	12
Étude de cas	19
Quelques trucs utiles	30
Table des propriétés de la vapeur	32
Conversion au système métrique	33

E1-77-13
© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1980
N° de cat. M91-2/6-1980F
ISBN 0-662-90878-3

Publié en vertu de l'autorisation du
Ministre de l'Énergie, des Mines, et des Ressources

ÉCONOMIES GRÂCE À UNE UTILISATION EFFICACE DE LA VAPEUR ET DE L'AIR COMPRIMÉ 6

Économies grâce à une efficace utilisation de la vapeur et de l'air comprimé

Introduction

La vapeur et l'air comprimé offrent au directeur d'usine une foule de possibilités d'économiser de l'énergie grâce à différents types de programmes conçus à cette fin.

La présente brochure traite principalement du fonctionnement et de la conception des appareils à vapeur et à air comprimé classiques. D'autres sujets, entre autres le fonctionnement d'une chaudière, la production de vapeur à partir de la chaleur perdue et divers domaines connexes, font l'objet d'autres fascicules dans la série. Le Guide et Index I renferme un index de rappel des sujets traités dans ces fascicules.

Exploitation de la vapeur

La vapeur sert à transporter la chaleur; on l'utilise à cette fin depuis de nombreuses années à cause de deux de ses propriétés fondamentales: premièrement, le fait qu'on la produit à partir de l'eau qui est un élément à la portée de tous et, deuxièmement, sa capacité à emmagasiner et à transporter une grande quantité de chaleur à une température à laquelle elle peut être commodément utilisée. On se rend cependant compte aujourd'hui que la principale qualité qui a rendu la vapeur si précieuse, l'aptitude à transporter de la chaleur, a amené les gens à considérer ses bienfaits comme une chose acquise. Peut-être l'ancienneté de la vapeur parmi les outils industriels a-t-elle avalisé certaines des mauvaises habitudes qui caractérisent son exploitation en y apposant le sceau de la tradition; cependant, il semble plus vraisemblable que, si nombre d'ingénieurs utilisent la vapeur sans jamais s'interroger sur ses modes d'exploitation, c'est plutôt parce que la majeure partie de la chaleur qu'elle transporte est latente ou cachée.

Un livre de vapeur à la pression atmosphérique contient 1 151 Btu (British Thermal Units). S'il n'était pas question de chaleur latente et s'il s'agissait d'un gaz ordinaire auquel on aurait ajouté 1 151 Btu, la vapeur à la pression atmosphérique atteindrait alors une température de 1 189° C. Les gens gaspilleraient-ils la vapeur s'il s'agissait d'un gaz incandescent capable de chauffer à blanc les métaux, de détremper ou de fondre les tuyaux et les récipients? Probablement pas.

Toutefois, dans la vapeur, la plus grande partie de la chaleur est latente. En effet, il faut 971 Btu pour transformer une livre d'eau à 100° C en une livre de vapeur à la même température. Il est impossible de voir cette chaleur latente ou de la sentir. C'est pourquoi nous la gaspillons souvent.

Pour une foule d'initiés dans le monde de l'industrie, il s'agit là de notions si élémentaires qu'elles se passent de commentaires. Bien des entreprises sont depuis fort longtemps conscientes de la valeur inestimable de la vapeur en tant que produit énergétique et elles travaillent d'arrache-pied à préserver son utilisation. Mais, même ces entreprises, ces dernières années, ont redoublé d'intérêt pour les programmes d'économie d'énergie appliqués à la vapeur à cause de la montée en flèche du coût du combustible nécessaire à sa production.

Il est plus que jamais essentiel de pouvoir compter sur un système de production et de distribution de vapeur qui fonctionne efficacement et sans gaspillage. Plus que jamais, il importe qu'une fois l'eau traitée, chauffée, vaporisée et condensée dans les conduites de vapeur, la chaleur n'aille pas se perdre dans l'égoût sous forme de condensat, à plus de 100° C, ou sous forme de vapeur de détente, à 100° C, qui s'échappe par un canal de mise à l'air libre.

L'exploitation rationnelle de la vapeur est à la mode. Les pages qui suivent aideront sans aucun doute les entreprises à emboîter le pas.

Un système efficace.

Quelle que soit la méthode utilisée pour économiser l'énergie, il est primordial de posséder une connaissance élémentaire du fonctionnement d'un système simple de production et de distribution de vapeur.

Le schéma sommaire qui suit représente un tel système; on y indique en outre certains points où l'énergie risque de se perdre. Le premier endroit où il faut regarder est sans aucun doute la chaudière elle-même.

Rendement de la chaudière: le premier maillon de la chaîne.

En gros, l'efficacité d'une chaudière s'évalue par son aptitude, en tant que système complet, à transmettre à l'eau et à la vapeur l'énergie du combustible brûlé. Cette efficacité dépend de l'excès d'air au brûleur et du mode de transfert de chaleur de la chaudière. Plus l'excès d'air est faible et le transfert de chaleur efficace, meilleur est le rendement de l'appareil. D'autres facteurs entrent également en jeu comme la purge de la chaudière et le préchauffage de l'eau d'alimentation ou de l'air comburant.

Nombre de ces sujets sont traités dans le présent document ou dans le fascicule entitré *Économies grâce à la régulation de la combustion.* C'est cependant le brûleur qui est peut-être l'élément le plus important pour l'utilisation optimale du combustible dans la chaudière; il va sans dire qu'un brûleur déréglé risque de gaspiller d'importantes quantités de combustible.

Voici un problème qui survient souvent: une mauvaise circulation d'air jusqu'au brûleur ou un brûleur mal réglé entraîne la formation de fumée à cause d'une combustion incomplète. L'opérateur élève la circulation d'air totale jusqu'au foyer afin d'éliminer le plus possible la fumée et de satisfaire aux normes sur la pollution de l'air. L'excès d'air dans l'appareil dépasse alors considérablement le point nominal et de grandes quantités de combustible sont gaspillées.

Les brûleurs à gaz ne nécessitent généralement pas beaucoup de soins, mais les unités chauffées au mazout, par contre, sont très sensibles aux changements dans le combustible. En effet, la viscosité du fuel-oil doit demeurer à un niveau fixe afin de permettre une atomisation suffisante et un mélange d'air adéquat. De plus, il est nécessaire de vérifier souvent l'analyse du fuel-oil afin d'assurer le maintien de la température exigée.

Les brûleurs neufs sont la plupart du temps conçus en fonction d'un combustible aux caractéristiques données et d'un apport calorifique spécifique; lorsque les caractéristiques du combustible changent, il faut sérieusement penser à modifier les brûleurs existants ou à en acheter d'autres. Le souci de tels détails sera amplement rémunéré par les économies de combustible réalisées.

L'un des moyens pour réduire le nombre d'heures de travail passées à assurer la meilleure combustion possible est d'installer un système perfectionné de régulation de la combustion. Nombre d'autres moyens plus simples doivent être adoptés avant d'en arriver à cette étape; mais lorsqu'on a pris toutes les autres mesures d'économie, l'installation d'un appareillage et d'un matériel de régulation complexes peuvent aider à tirer le maximum d'une chaudière.

Chaque cas concret doit être étudié séparément mais, de façon générale, le rendement du capital investi et la durée de remboursement que procurent une meilleure régulation de la combustion sont très attrayants.

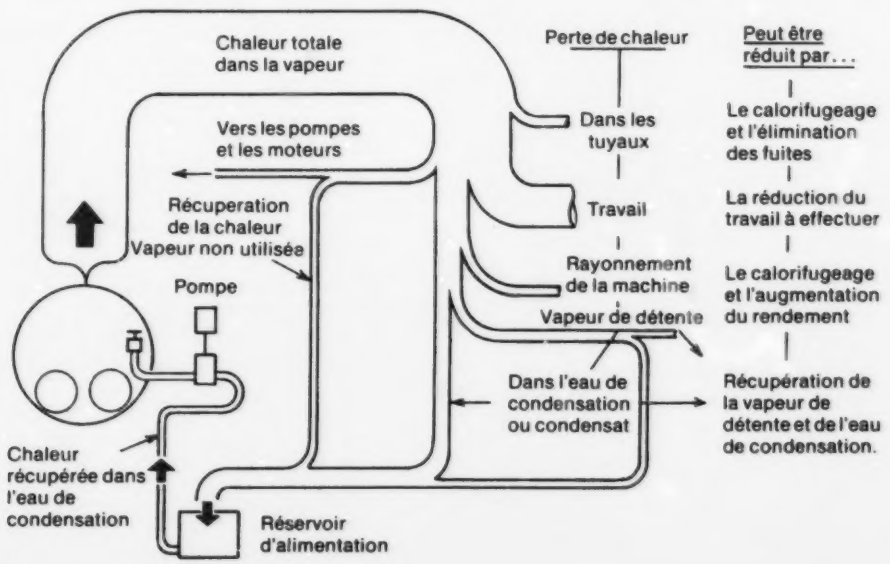
Certains directeurs d'usine sont d'avis que les régulateurs de combustion ne sont rentables que sur de grandes chaudières (300-500 HP); sur les petites chaudières, ils préfèrent une analyse régulière des températures du carneau et de la teneur en oxygène ou en anhydride carbonique.

Propreté des tubes bouilleurs.

L'échange de chaleur au niveau des tubes bouilleurs constitue également un point important. Il va sans dire que la quantité de chaleur transmise par ces surfaces dépend étroitement de leur propreté. L'accumulation de dépôts sur les surfaces internes ou externes diminuent le rendement de la chaudière.

Bien que des souffleurs de suie soient normalement prévus pour nettoyer les surfaces externes (côté gaz) à l'aide de jets de vapeur ou d'air comprimé, on ne profite pas automatiquement de leurs effets bénéfiques. Les souffleurs doivent entrer en action périodiquement et les responsables des chaudières doivent être habitués à se servir de lances à air comprimé ou à vapeur en vue de déloger les scories ou les cendres que les souffleurs de suie n'ont pas réussi à expulser.

Où va la chaleur dans une chaudière à vapeur



L'entretien des surfaces côté eau est également essentiel pour prolonger la vie utile des tubes et obtenir une efficacité maximale. Dans le cas présent, la clé du succès réside dans un traitement adéquat de l'eau d'alimentation ainsi que dans l'établissement des débits de purge.

La purge de la chaudière: une perte de chaleur obligatoire.

La purge est évidemment nécessaire étant donné que, lorsque l'eau de la chaudière se transforme en vapeur, elle abandonne derrière elle presque tous les solides; d'autre part, la concentration de solides dissous dans le collecteur inférieur doit être maintenue au-dessous d'un plafond prescrit par le fabricant. Malheureusement, la purge élimine non seulement les solides mais aussi de l'eau chaude et, si elle est excessive, elle provoque des pertes de chaleur importantes.

Puisque c'est la concentration de solides dans l'eau d'alimentation qui détermine la nécessité d'une purge, il est essentiel d'avoir une eau d'alimentation adéquatement traitée pour réduire au maximum la purge nécessaire. La récupération de l'eau de condensation (voir plus loin) peut grandement contribuer à réduire la purge, parce qu'il s'agit d'une eau exempte de solides; elle aide également à réduire la consommation de combustible ainsi que les coûts du traitement qu'il faut faire subir à l'eau municipale pour l'amener à une température voisine du point d'ébullition.

Lorsque l'eau de refroidissement des compresseurs est adoucie ou traitée pour servir d'eau d'alimentation de la chaudière, cela peut aussi réduire considérablement la purge nécessaire. On ne peut cependant pas éliminer complètement la purge et il est préférable qu'elle soit ininterrompue plutôt que périodique si l'on veut limiter la perte de chaleur. De plus, la condition de l'eau de la chaudière doit être vérifiée au moins deux fois par poste de travail au moyen d'une analyse chimique de la teneur en chlorure ou de la mesure de la conductivité.

Même si la purge de la chaudière est raisonnable, il est quand même possible de réduire la perte de chaleur à l'aide d'un échangeur de chaleur ou d'un réservoir de détente.

Le système de récupération d'un échangeur de chaleur a d'abord pour fonction de récupérer la chaleur perdue à la purge à l'aide d'un échangeur de chaleur qui réchauffe l'eau d'appoint avant son entrée dans le réchauffeur de l'eau d'alimentation de la chaudière. De plus, une partie de la purge de la chaudière est récupérée sous forme de vapeur de détente destinée au réchauffeur de l'eau d'alimentation, au traitement à basse pression ou au chauffage.

La quantité de chaleur récupérée dans l'échangeur de chaleur peut se calculer au moyen d'une analyse du bilan thermique qui tient compte du degré de purge de la chaudière, des caractéristiques de l'échangeur de chaleur et de la température de l'eau de purge, sans oublier la température et le débit moyen de l'eau d'appoint provenant des canalisations municipales.

Par contre, la quantité de vapeur récupérable dans le réservoir de détente dépend de la condition de l'eau de purge et de la pression du réservoir. Le calcul du pourcentage du liquide qui doit normalement être vaporisé peut se faire à l'aide d'un graphique que l'on trouvera dans la présente fascicule.

Une autre façon d'améliorer l'efficacité d'une chaudière consiste à réduire la température des gaz de carneau qui quittent la chaudière au moyen d'un réchauffeur d'air ou d'un économiseur. L'économiseur est un échangeur de chaleur tubulaire qui sert à refroidir les gaz d'échappement de la chaudière tout en s'en servant pour chauffer l'eau d'alimentation de la chaudière. Nombre de grandes chaudières sont pourvues à la fois d'un économiseur et d'un réchauffeur d'air alors que les petites chaudières n'ont que l'un ou l'autre, mais rarement tous les deux.

Il est également utile de mentionner que l'on ne place normalement pas d'économiseur dans les chaudières à basse pression parce que la différence de température entre l'eau d'alimentation qui passe dans l'économiseur et les gaz brûlés (eau d'alimentation 94° C — gaz 260° C) y est inférieure à la différence de température pour un réchauffeur d'air (air 26° C — gaz 260° C). Le cas est cependant différent pour les chaudières équipées de chargeur mécanique où les problèmes causés par les cendres ainsi que la nécessité d'utiliser l'air comburant pour refroidir les grilles exigent généralement l'utilisation d'un économiseur plutôt que celle d'un réchauffeur d'air.

Étape suivante: emprisonner la chaleur.

Aussitôt sortie de la chaudière, la vapeur commence à perdre sa chaleur. L'efficacité d'un système de distribution dépend donc de son aptitude à conserver sa chaleur à la vapeur jusqu'à ce qu'elle atteigne le point où cette chaleur est nécessaire.

À cet égard, il est surtout primordial qu'il n'y ait aucune perte de chaleur directe occasionnée par une fuite aux soupapes ou aux joints. Ces fuites sont faciles à détecter mais elles coûtent cher en énergie et en dollars. Le graphique ci-dessous indique les volumes estimatifs de vapeur qu'il est possible de perdre par des trous de diverses grosseurs; par exemple, dans un système à 100 psig, la vapeur perdue par un trou de 1/32 pouce coûterait à l'entreprise environ $360 par année.

Une quantité importante de chaleur peut également se perdre par rayonnement dans des conduites de vapeur non isolées; les faits qui suivent parlent par eux-mêmes: un tuyau de 6

Que coûtent les fuites?

Taille de la fuite (en pouces)	Air		Vapeur	
	Perte par mois en pi^3 à 70 psig	Coût par mois en dollars à 15¢/1000 pi^3	Perte par mois en livres à 100 psig	Coût par mois en dollars à $3.25/1000 lb
½	13,450,000	$2,020	500,000	$1,600
¼	3,360,000	$500	175,000	$570
⅛	840,000	$130	45,000	$150
1/16	210,000	$30	17,000	$60
1/32	50,000	$8	1,000	$30

pouces de diamètre et de 10 pieds de long qui transporte de la vapeur à 1-100 psig peut faire gaspiller 5 tonnes de charbon ou plus de 650 gallons de mazout par année s'il n'est pas isolé. Nul besoin d'un ordinateur pour constater qu'à l'échelle d'une usine, un tel chiffre doit être multiplié par des dizaines ou même des centaines pour correspondre à la longueur des tuyaux.

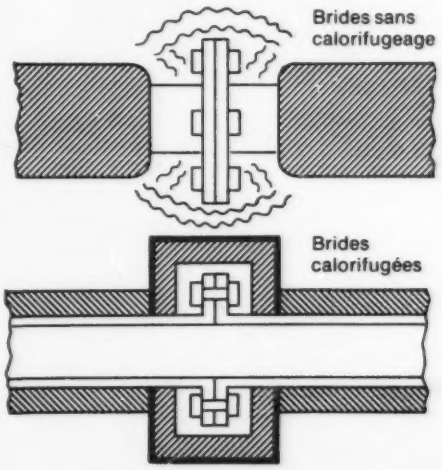
Nombre d'usines, bien qu'elles aient isolé les conduites de vapeur au cours des années, gaspillent encore beaucoup de vapeur, même si elles ne s'en rendent pas toujours compte. La source de ces pertes? Les brides de tuyaux non isolées. En fait, dans bien des cas, on arrête l'isolation à trois ou quatre pouces de part et d'autre d'une bride pour qu'elle soit ainsi plus facile d'accès. Il faut néanmoins savoir que les brides non isolées sont des causes importantes de perte de chaleur.

En gros, on peut dire qu'une bride sans calorifugeage équivaut à deux pieds de tuyaux non isolés. En d'autres mots, si cinq brides sont laissées à découvert sur le tuyau de 6 pouces à 100 psig, on gaspille 350 gallons de mazout. Comment y remédier? En isolant les brides comme le montre l'illustration.

Il y a encore d'autres foyers de gaspillage par rayonnement, notamment les cylindres sécheurs, les boîtes à vapeur, les couches de calandre, bref, toutes les pièces d'équipement sujettes à laisser échapper de la chaleur par rayonnement consomment beaucoup d'énergie. En gros, on peut dire que chaque pied carré de surface chauffée à vapeur et non isolée se traduit, à 100 psig, par une perte d'environ 820 BTU à l'heure ou à peu près une livre de vapeur. Et ce n'est pas tout. En effet, la chaleur des machines risque d'incommoder l'opérateur qui ouvrira alors une fenêtre pour rafraîchir l'atelier. En hiver, le courant d'air froid sur les machines ainsi provoqué accentue la perte de chaleur.

Certaines pièces d'équipement aux formes irrégulières ne sont pas faciles à calorifuger, surtout lorsqu'elles doivent être démontées périodiquement pour l'entretien. Il existe cependant une foule d'isolants et de méthodes d'installation qui conviennent aux pièces d'équipement de forme irrégulière et sont faciles à enlever et à remettre en place au besoin. Il suffit généralement d'un coup de fil au fabricant d'isolant ou à l'entrepreneur pour trouver la solution à tout problème du genre.

Perte de chaleur par des brides sans calorifugeage



Dans les rares cas où une isolation efficace est impossible sans nuire à l'une ou l'autre étape de la production ou de l'entretien, un revêtement de peinture à l'aluminium peut réduire les pertes de chaleur.

Pourquoi cet usage immodéré de la vapeur?

L'une des principales causes de gaspillage d'énergie est liée à la mise à contribution inutile de la vapeur. Une autre fascicule, *Économies grâce à l'optimisation de la chaîne de la production,* traite en détail de la question et nous nous bornerons ici à souligner qu'en principe, il faut suspendre le fonctionnement d'une installation dont on n'a pas besoin.

Il est évidemment impossible qu'une usine utilise toujours entièrement la vapeur produite par ses installations; c'est pourtant l'objectif que l'on doit viser si l'on veut réaliser de véritables économies. Par exemple, une usine qui utilise 2 000 livres de vapeur à l'heure, 8 heures par jour, 5 jours par semaine, gaspille environ 13 800 gallons de mazout lorsqu'elle fonctionne à la moitié de sa capacité. Il s'agit là de $6 000 ou plus qui s'envolent en fumée.

Un réaménagement de l'équipement, sans entraver le cours de la production, peut également apporter d'intéressants dividendes en réduisant les pertes de vapeur (et la demande de vapeur) attribuables à la croissance tentaculaire du réseau de canalisations au fin des ans. La règle d'or qui veut que l'équipement soit groupé le plus près possible de la canalisation principale de vapeur est fondée sur la constatation qu'un segment inutile de tuyau de deux pouces d'une longueur de 10 pieds

Coût annuel des pertes de chaleur provenant de conduites de vapeur non isolées

Diamètre du tuyau (po)	Coût annuel + (dollars)
½	300
1	1100
1½	1550
2	2050
3	2500
4	3650
6	4550
8	5650
10	7300
12	8500

+Note: coût par 100 pieds de conduite non isolée.

seulement peut coûter de $30 à $40 par année en combustible dans une usine qui fonctionne 8 heures par jour, 5 jours par semaine. Cette somme est quadruplée dans une usine qui fonctionne 24 heures par jour, 7 jours par semaine. Bien sûr, on peut réduire ce chiffre de 70% à 75% en isolant le tuyau mais il sera toujours impossible d'éliminer complètement le gaspillage occasionné par des canalisations superflues. À cet égard, il peut être utile de diviser le circuit de distribution en y insérant des valves de sectionnement car cela permettra à un département de l'usine de faire des heures supplémentaires sans qu'il soit pour autant nécessaire de maintenir en service les canalisations de vapeur des autres départements.

Le fascicule intitulée "*Calcul fondamental*" de la présente série décrit en long et en large une autre façon de réduire la demande de vapeur dans une usine. Il s'agit essentiellement de veiller à ce que les opérations ne soient pas effectuées à des températures supérieures à celles qui sont exigées pour obtenir de bons résultats.

Par exemple, cinq réservoirs de transformation à ciel ouvert fonctionnent à une température de 82° C alors que 66° C aurait été suffisant. Cela entraîne un gaspillage de 11 500 gallons de fuel-oil par année, c'est-à-dire plus de $5 000 qui s'envolent en fumée. Et il aurait suffi d'un seul investissement de moins de $2 000 destiné à l'achat d'un régulateur automatique de température pour éliminer ce gaspillage.

Baisse de pression.

C'est un fait concret (et facile à vérifier en jetant un coup d'oeil rapide à l'un des tableaux des propriétés de la vapeur du présent fascicule que la chaleur latente de la vapeur diminue à mesure que la pression augmente. Cela signifie que plus la pression de la vapeur est élevée, moins la quantité de chaleur latente (chaleur la plus facilement obtenue) disponible par livre de vapeur est considérable. Il faut plus de livres de vapeur à haute pression pour fournir une quantité de chaleur donnée.

Par conséquent, du point de vue de l'économie d'énergie, plus basse est la pression et moins il faut de vapeur pour fournir une quantité de chaleur donnée. De plus, les pertes provenant de fuites et des purgeurs diminuent également. Il est donc avantageux d'abaisser la pression dans un circuit de vapeur. Ce fascicule cite d'ailleurs le cas d'une entreprise canadienne qui a épargné de l'argent grâce à une telle initiative.

Le problème, c'est que plus la pression de vapeur est faible, plus la température est basse et, par conséquent, le débit de chaleur provenant d'une surface donnée l'est également (même si les pertes sont également diminuées). Aucun doute que, dans le cas présent, la seule solution, si la pression doit être réduite, (ou maintenue tout en accomplissant plus de travail en moins de temps grâce à la plus grande quantité de chaleur

disponible) est d'améliorer l'échange de chaleur dans le matériel de traitement ou tout échange vapeur-chaleur.

Il est parfois possible d'accroître la surface chauffante. Par exemple, disons que dans un système de chauffage fonctionnant à une pression de 80 psig, on augmente la surface chauffante de 25%. Dans une pièce où se trouve 4 longueurs de tuyaux chauffants, il sera donc nécessaire d'ajouter une longueur de tuyau. L'économie d'énergie ainsi obtenue serait d'environ 4% par année.
L'accroissement de la surface chauffante est un principe auquel il faudrait prêter une attention particulière au moment de la conception des circuits de chauffage à vapeur et lorsqu'on installe des serpentins de chauffage dans les réservoirs de traitement. Cependant, s'il s'agit de modifier l'équipement en usage; il n'existe, dans la plupart des cas, aucune possibilité d'augmenter la surface de chauffe. Le seul moyen d'améliorer l'efficacité de la vapeur à l'extrémité du circuit, et peut-être de réduire la pression de vapeur, est alors d'éliminer en partie les films et autres obstacles à un échange de chaleur efficace.
L'illustration qui suit est très importante car elle montre, d'une manière simplifiée, comment, dans un processus de vaporisation, la vapeur n'entre pas en contact direct avec les matériaux chauffés.

Côté eau, se trouvent une pellicule stagnante du produit (en l'occurrence, de l'eau) et, éventuellement, une couche de tartre sur le produit.
Ces éléments apportent une résistance considérable à la circulation de chaleur vers le produit; il est cependant relativement facile d'éliminer leurs effets par un nettoyage régulier ou par agitation mécanique. Les deux méthodes sont recommandées et elles permettent de réaliser des économies.

Le pire ennemi de l'échange air/chaleur.

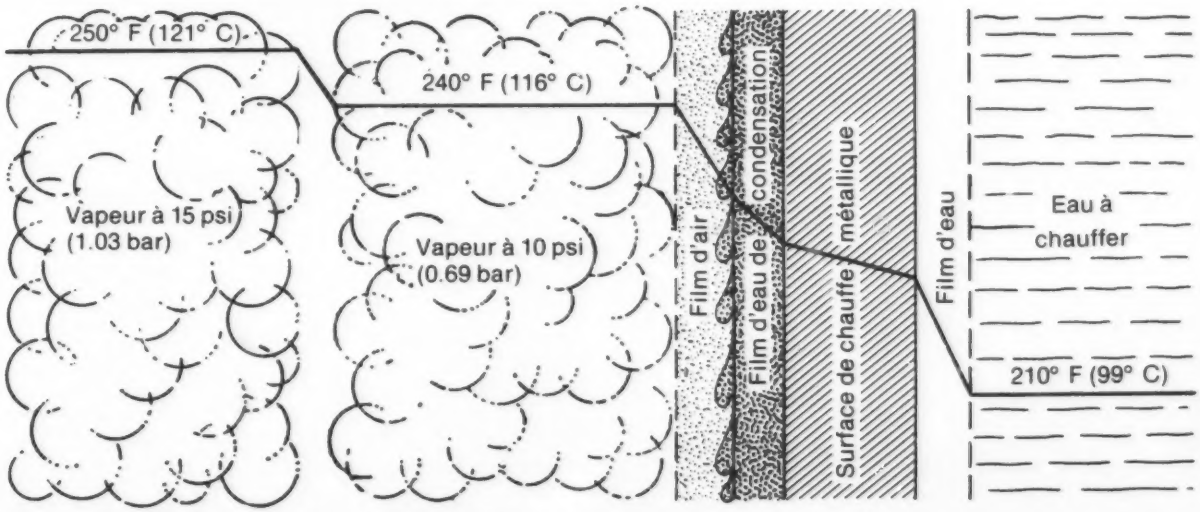
Le problème est cependant beaucoup plus aïgu et difficile à solutionner de l'autre côté de la surface du métal, c'est-à-dire du côté de la vapeur. Nous avons ici trois couches: premièrement, un film de tarte formé de rouille et de saletés provenant des tuyaux ainsi que d'impuretés amenées de la chaudière par vapeur lorsque l'épuration de l'eau d'alimentation n'est pas suffisante ou que la chaudière est soumise à une demande considérable. Le nettoyage périodique de la surface améliorera de façon considérable l'efficacité du chauffage.

En deuxième lieu, on trouve deux autres films entre la vapeur et la surface de chauffe. Il y a d'abord un film d'eau (l'eau est mauvais conducteur de chaleur), puis un film d'air qui constitue l'obstacle majeur à un bon transfert de chaleur.

Le film d'eau forme une barrière non négligeable. En effet, l'eau est de 60 à 70 fois plus mauvais conducteur de chaleur que le fer ou l'acier de la surface de chauffe et de 500 à 600 fois plus que le cuivre.

Mais comme le plus efficace des matériaux isolants est la multitude d'alvéoles minuscules encloses dans des fibres non-conductrices, il n'est nullement étonnant d'apprendre que l'air est plus de 1500 fois plus résistant au passage de la chaleur que le fer ou l'acier et pas moins de 13 000 fois plus que le cuivre. Cela signifie qu'un film d'air d'un millième de pouce d'épaisseur résistera au transfert de chaleur aussi efficacement qu'un mur de cuivre de 13 pouces d'épaisseur.

Il est évident que, dans toutes les opérations, l'épaisseur des films sur les surfaces de condensation doit être réduite. Dans le cas du film d'air, un certain nombre de problèmes autres que ceux de la réduction du transfert de chaleur se posent. En effet, l'air entraîne une réduction de la



Effet du film d'air et du film d'eau sur le transfert de chaleur

température de la vapeur au-dessous de celle de la vapeur non diluée et risque de former des poches aux points d'étranglement relatif des canalisations; l'efficacité de la surface de chauffe se trouve alors diminué par endroits, et il se forme des foyers de gaspillage d'énergie.

Tous ces problèmes grugent l'efficacité du matériel de l'usine, augmentant ainsi la consommation d'énergie.

La solution? Pour ce qui est du film d'air, la réponse se trouve peut-être dans l'utilisation d'évents à pression équilibrée conçus pour permettre aux mélanges d'air et de vapeur de s'échapper et pour se fermer en présence de vapeur pure, sans réagir aux fluctuations de la pression de la vapeur. Certaines entreprises ont cependant dû faire face à des problèmes d'entretien et à des fuites de vapeur avec des dispositifs du genre. Comme dans d'autres domaines, on peut affirmer qu'un purgeur efficace fonctionnera efficacement dans un système bien conçu.

Il est impossible d'établir des règles immuables sur l'emplacement des évents; en effet, la position du dispositif d'admission de vapeur et la forme de la chambre de vapeur ont une grande influence sur l'endroit où l'air se déposera. La connaissance de la forme de la chambre de vapeur ainsi que de certains autres éléments pourra être utile; un expert-conseil ou le fabricant seront certainement en mesure de trancher la question. Le choix des purgeurs de vapeur d'après leur capacité à éliminer l'air peut également entrer en ligne de compte.

L'eau: un ennemi redoutable.

L'obstacle à supprimer avec la pellicule d'eau ou le condenseur est d'un tout autre ordre. Lorsque la vapeur sèche entre en contact avec la surface à chauffer, elle restitue sa chaleur latente et se condense, formant ainsi le film isolant. Si la vapeur est humide, en d'autres mots, si elle renferme de fines gouttelettes d'eau, cette eau se dépose sur la surface de chauffe et épaissit le film isolant mais sans apporter de contribution du point de vue de la chaleur latente.

La solution fondamentale c'est d'obtenir une vapeur plus sèche au sortir de la chaudière par l'élimination des pointes de demande et de la surcharge des chaudières lorsque c'est possible, ainsi qu'en accordant une attention particulière non seulement aux produits chimiques de traitements des chaudières mais aussi à leur utilisation.

Cependant, à cause de la nature même de la production commerciale de vapeur, il est impossible d'éliminer complètement la présence de particules d'eau dans la vapeur; en outre, la quantité d'eau augmente nécessairement lorsque la vapeur circule dans le système de tuyaux.

Il est essentiel que la vapeur soit captée en haut de la canalisation principale; si la canalisation est bien purgée, on obtiendra alors de la vapeur sèche. Quel que soit l'échangeur de chaleur, la pente du tuyau constituera l'élément essentiel pour l'élimination rapide de l'eau.

Les purgeurs de vapeur: de grands coupables.

C'est un fait bien connu que lorsque la vapeur perd sa chaleur latente, elle se condense et doit être retirée des tuyaux au moyen des purgeurs de vapeur afin de préserver le bon contact de la vapeur avec les surfaces de chauffe.

L'un des études de cas dans le présent fascicule décrit avec certains détails une méthode d'entretien des purgeurs de vapeur; cette étude intéressera tous ceux qui souhaitent l'approfondir. Qu'il suffise de dire que le choix du purgeur de vapeur et l'endroit où il est placé sont aussi importants que l'utilisation de filtres destinés à empêcher l'accumulation de poussières et de particules étrangères dans les purgeurs, cause directe des fuites de vapeur au niveau des purgeurs.

Des voyants le long de la tuyauterie après les purgeurs peuvent être utiles pour déceler les fuites de vapeur; on peut aussi placer des rubans thermiques qui changent de couleur à des températures supérieures à celle de l'eau de condensation. Cependant, en ce qui concerne l'économie d'énergie, particulièrement le filtrage de la vapeur, l'entretien est la clé du succès. Une vérification régulière des purgeurs de vapeur ainsi que leur remplacement en cas de besoin est rentable; il doit s'agir d'une priorité pour chaque usine munie d'un système de production et de distribution de vapeur.

L'eau de condensation, qui est recueillie par les purgeurs, contient toujours une quantité importante de chaleur sensible; en l'envoyant directement dans l'égoût, on y envoie également de la chaleur et des dollars. Certaines usines réussissent à recycler plus de 90 pourcent de l'eau de condensation en eau d'alimentation pour les chaudières. Elles obtiennent ainsi de l'eau chaude déjà épurée. Cela n'est pas négligeable.

La majorité des usines qui pratiquent ce type de recyclage sont situées dans des régions où l'eau douce est rare. Elles ne le font pas pour économiser de l'énergie. Dans une foule d'autres usines qui disposent d'eau en abondance, l'eau de condensation est rarement recyclée. Cependant, la façon de voir les choses a évolué ces dernières années et, compte tenu de la politique d'économie d'énergie actuelle, il n'est que logique de recycler le plus possible l'eau de condensation comme eau d'alimentation des chaudières.

Avant que l'eau de condensation puisse être utilisée à cette fin, on doit la transférer de la canalisation de vapeur à la conduite de retour où la pression est plus basse. L'eau de condensation à haute température se transforme partiellement. La chaleur supplémentaire dégagée grâce à la baisse

de pression se combine avec l'eau en tant que chaleur latente, formant ainsi de la vapeur de détente.

Si l'eau de condensation est recueillie dans une conduite de retour à la pression atmosphérique, la vapeur de détente se condensera généralement et se transformera en eau de condensation à 100° C; la chaleur latente de la vapeur de détente aura cependant été gaspillée.

Par conséquent, si l'eau de condensation peut être évacuée dans une canalisation à basse pression, il est alors possible de récupérer la vapeur de détente et de l'utiliser. Le diagramme ci-après indique la quantité de vapeur de détente produite lorsque l'eau de condensation, à différentes pressions, se déverse dans un système de chauffage ou de traitement à une pression donnée. Par exemple, lorsque l'eau de condensation, à une pression de 200 psi, est transférée dans un système à 10 psi, il y a formation d'un volume de vapeur de détente équivalent à 16 pour cent de l'eau de condensation.

Récupération de la vapeur de détente et de l'eau de condensation.

Dans la plupart des applications industrielles, l'eau de condensation qui provient de diverses pièces d'équipement est ramenée dans une canalisation commune de retour jusqu'au réservoir d'alimentation de la chaudière. Bien souvent, les tuyaux de retour ne sont pas isolés et le réservoir d'alimentation n'est pas couvert ou est mis à l'air libre, et la canalisation de retour de l'eau de condensation s'y raccorde au-dessus du niveau de l'eau.

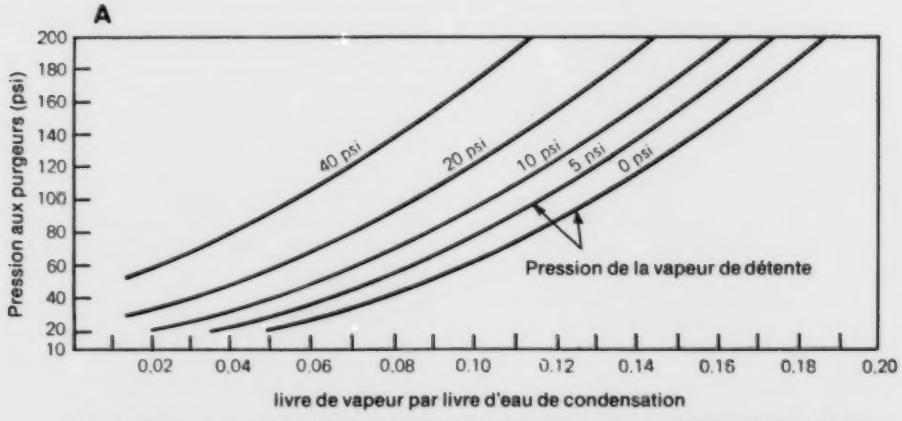
La vapeur de détente qui se forme aux purgeurs circule avec l'eau de condensation le long de la canalisation de retour. Lorsque les conduites ne sont pas isolées, la majorité de la vapeur se condense, tel que décrit précédemment, et la chaleur s'échappe dans l'air. Si, par contre, les conduites sont isolées, une bonne partie de la vapeur atteint le réservoir. Le cas échéant, si le tuyau de retour arrive au-dessus du niveau d'eau, une forte proportion de la vapeur de détente s'échappe alors à l'air libre; si le tuyau de retour arrive au-dessous du niveau de l'eau et que la proportion d'eau d'appoint froide est suffisante, une partie de la vapeur se condense et l'eau d'alimentation se réchauffe.

Lorsque toutes les précautions ont été prises en vue de conserver la vapeur dans l'eau de condensation, il reste encore à résoudre un problème important. Les pompes d'alimentation supporteront-elles de l'eau aussi chaude? La plupart du temps, la solution idéale est de placer un réservoir de détente dans la canalisation commune de retour de l'eau de condensation ou après les purgeurs de grosses unités utilisant une vapeur à haute pression. La vapeur de détente qui se dégage peut ensuite être captée et envoyée dans un circuit ou un équipement de chauffage à basse pression.

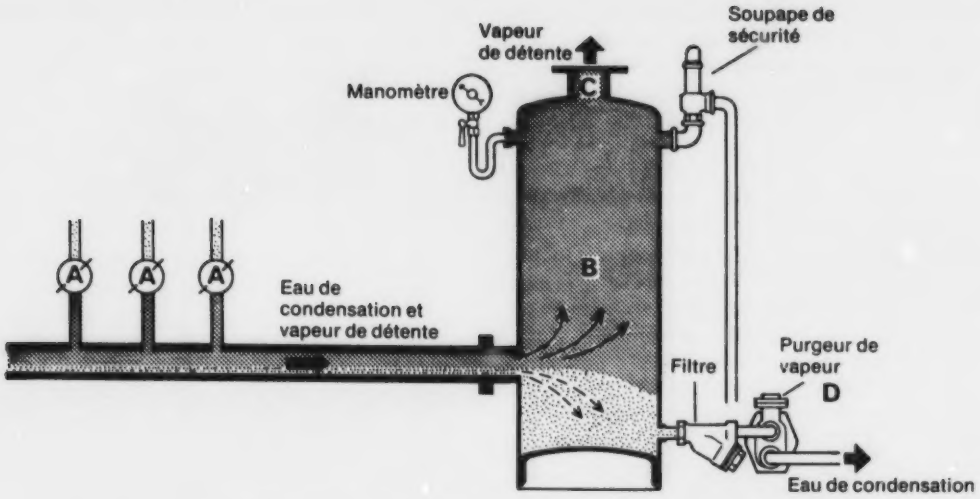
Tel que l'indique l'illustration, l'eau de condensation à haute pression passe par les purgeurs jusqu'au réservoir de détente; ce dernier fonctionne à basse pression de sorte qu'une partie de l'eau de condensation est vaporisée instantanément à la sortie des purgeurs. La vapeur est ensuite entraînée et l'eau de condensation est évacuée par un purgeur à flotteur à vidange continue.

Dans des conditions idéales, la vapeur de détente doit être utilisée lorsqu'il y a une demande soutenue pour toute la vapeur de détente disponible et qu'il est possible d'arriver à une récupération maximale de la chaleur en réduisant la tuyauterie au minimum. Pour ce faire, on a généralement recours à un certain nombre de petits appareils de récupération indépendants plutôt qu'à une seule grosse unité. Bien entendu, le réservoir de détente et la tuyauterie auxiliaire doivent être bien calorifugés.

Les systèmes de chauffage offrent souvent de bonnes possibilités d'utilisation de la vapeur de détente à basse pression. Il y a cependant un



Quantité de vapeur de détente disponible dans diverses conditions d'exploitation



Fonctionnement d'un réservoir de détente

problème. En effet, bien que la vapeur à basse pression ait une chaleur latente plus élevée, elle a également une température plus basse (chaleur totale) qu'il faut compenser par des réchauffeurs d'air et autres surfaces de chauffe de dimensions plus grandes.

Généralement, la solution la plus satisfaisante consiste à combiner la vapeur à haute et à basse pression pour le chauffage. Si, par exemple, une usine a cinq travées, il est logique d'en chauffer quatre avec de la vapeur à haute pression et de chauffer la cinquième travée à basse pression avec la vapeur de détente récupérée.

Il existe bien d'autres utilisations de la vapeur à basse pression qui peuvent s'avérer rentables à l'usine. L'utilisation de la vapeur de détente à basse pression peut réduire considérablement la demande à laquelle doit faire face la chaudière principale et, de ce fait, épargner de grandes quantités de combustible et de dollars. Dans certains cas, on peut même arriver à éviter d'avoir à augmenter la puissance de la chaudière principale. Il existe une abondante documentation pour aider à résoudre les problèmes posés par le choix d'une pression de la vapeur de détente, de la taille du réservoir de détente, etc. Il peut être nécessaire d'avoir recours à un expert-conseil spécialisé dans le domaine. Mais quelles que soient les mesures prises en vue de la récupération de la vapeur de détente, il est fort probable que l'investissement sera vite récupéré.

La température de l'eau de condensation est-elle trop élevée?

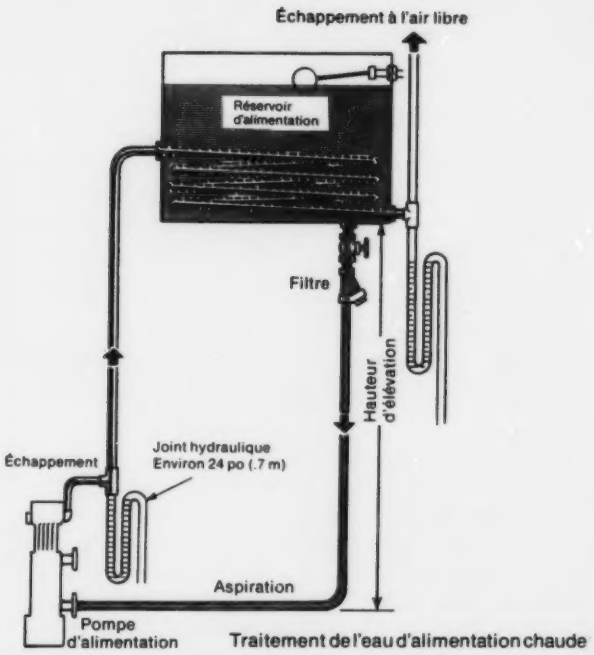
Il a été mentionné précédemment que sans la récupération de la vapeur de détente, l'eau de condensation risquait d'être trop chaude pour les pompes qui l'acheminent au réservoir d'alimentation. Lorsque la pression statique n'est pas suffisante pour que les pompes supportent la chaleur de l'eau de condensation, il faut envisager l'installation d'un réservoir d'alimentation auxiliaire à un niveau plus élevé. Comme l'indique l'illustration, l'eau provenant du réservoir d'eau de condensation chaude peut facilement être élevée à un niveau supérieur à l'aide d'un cabinet de purge; il s'agit d'un dispositif automatique muni d'un flotteur qui, lorsque l'eau de condensation atteint un certain niveau, ouvre une soupape régulatrice de pression sur la chaudière et en laisse monter une partie. C'est un appareil peu volumineux qui consomme très peu de vapeur.

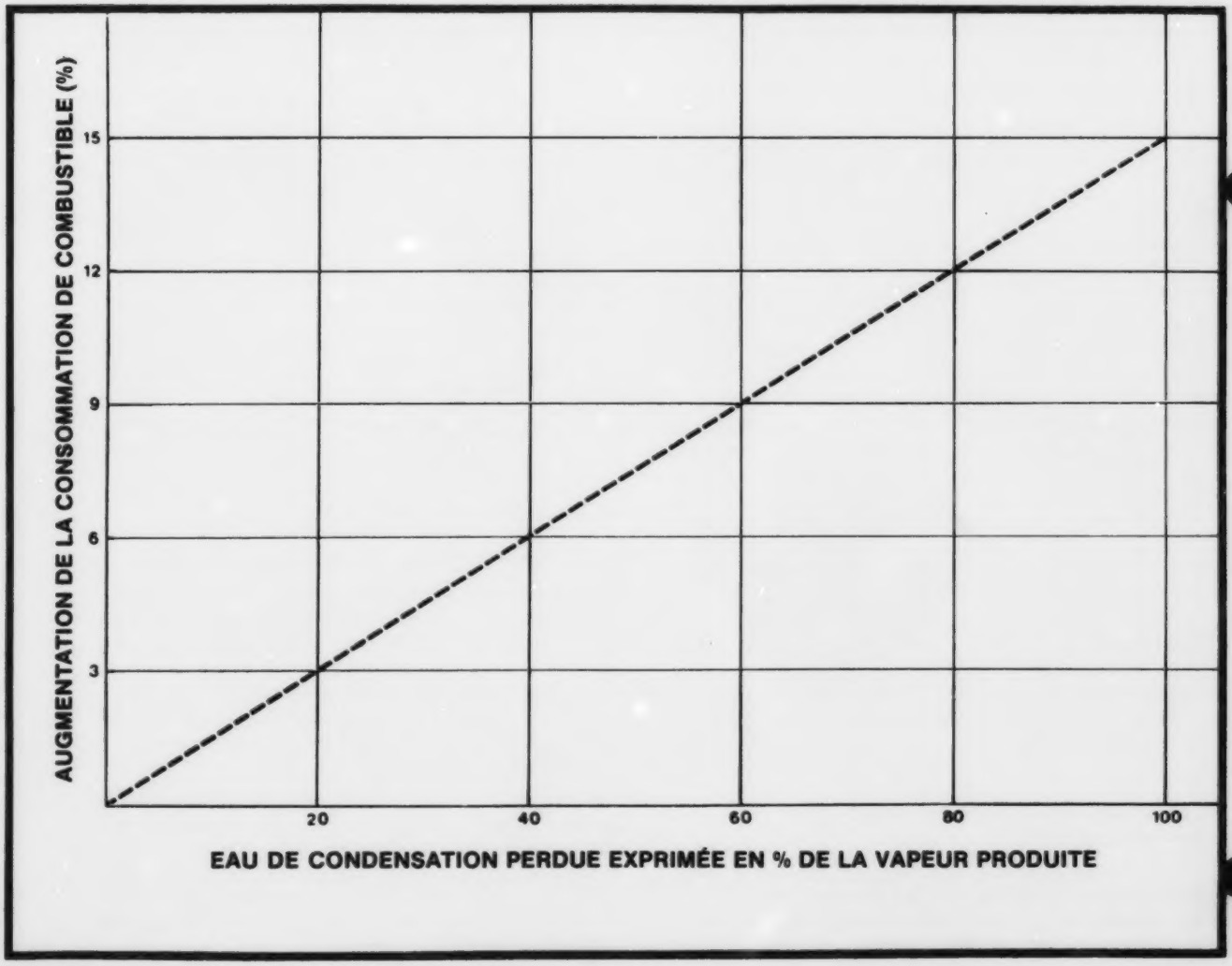
Il est alors possible d'acheminer l'eau de condensation, quelle que soit sa température, jusqu'au réservoir collecteur. Peut-être est-ce bon de faire quelques observations générales concernant l'importance de recueillir l'eau de condensation et de l'utiliser comme eau d'alimentation de la chaudière. Le graphique met en parallèle les pourcentages d'eau de condensation perdus avec l'augmentation de la consommation de combustible correspondante.

Règle générale, chaque augmentation de 7° C de la température de l'eau d'alimentation se traduit par une diminution de l'ordre de 1% de la quantité de combustible brûlé dans la chaudière. Il est important de ne pas oublier qu'à ce gain, on doit ajouter l'économie provenant de la réduction de la consommation d'eau et des besoins en produits chimiques de traitement.

Comme il a déjà été mentionné précédemment, les canalisations de retour de l'eau de condensation doivent être bien isolées, de même que le réservoir d'alimentation. En effet, l'isolement du fond et des côtés d'un réservoir ainsi que du couvercle s'avère un bon investissement. Le diagramme le démontre incontestablement.

Souvent, on estime qu'il ne vaut pas la peine de ramener l'eau de condensation au réservoir de traitement parce que celui-ci est trop loin et que l'économie possible semble, au premier coup d'oeil, négligeable. Comme pour la plupart des investissements visant à économiser l'énergie, il s'agit d'une impression erronée. Une analyse comparative poussée du capital investi et des économies qu'il permet de réaliser pendant toute la durée de l'équipement justifie presque toujours la dépense pour la tuyauterie.





Autres utilisations de l'eau de condensation.

Même si le coût pour ramener de l'eau de condensation à la chaudière s'avère excessif, il n'y a aucune raison de s'en débarrasser dans l'égoût. Il est toujours possible d'utiliser cette eau propre réchauffée pour le lavage ou à d'autres fins; on arrive ainsi à épargner de l'argent tant sur le coût de l'eau que sur l'énergie qui aurait été autrement nécessaire pour la réchauffer.

Dans la phrase précédente, le mot clé était «propre». En effet, il est essentiel que l'eau de condensation ne contienne pas d'impureté lorsqu'elle arrive à la chaudière. L'huile qui provient de l'échappement des moteurs, les résidus des procédés industriels, le fer de l'eau d'appoint traitée à la chaux éteinte ainsi qu'un certain nombre d'autres impuretés peuvent polluer l'eau de condensation. Il y a cependant des moyens de corriger la situation. Par exemple, il suffit généralement de tenir les serpentins à vapeur en bon état pour éliminer toute contamination industrielle et de neutraliser ou de filtrer les amines injectées dans la vapeur pour réduire la quantité de fer ramassée dans la tuyauterie de retour de l'eau de condensation. Il est bon de préciser à nouveau que même lorsque l'épuration de l'eau d'alimentation n'est pas directement rentable (le cas est rare), il faut tenir compte de la chaleur que contient l'eau de condensation et tenter de l'utiliser de l'une ou l'autre manière. On ne doit l'envoyer à l'égoût qu'en dernier ressort.

Par exemple, un simple échangeur de chaleur utilisant un bain d'eau chaude (et peut-être corrosive) pour chauffer l'eau d'alimentation qui circule dans un serpentin, peut être un moyen efficace et économique pour récupérer la chaleur de l'eau de condensation s'il est impossible de se servir de cette dernière à d'autres fins plus avantageuses.

Traçage à la vapeur — une autre source d'économie.

Il va sans dire que l'utilisation de la vapeur dans les systèmes de traçage pour empêcher le liquide contenu dans les canalisations de geler au froid représente un autre domaine important dont on devrait tenir compte lors de la planification d'un programme d'économie d'énergie. Bien que l'économie possible ne soit pas aussi importante étant donné que le volume et la pression de la vapeur utilisée sont considérablement moins élevés, il s'agit cependant d'un secteur qui mérite l'attention. Les techniques utilisées dans les applications de traitement et de chauffage à la vapeur peuvent directement s'appliquer au traçage à la vapeur.

Une fois de plus, c'est l'entretien qui importe.

En premier lieu, il va sans dire que le système de traçage ne doit être utilisé qu'en hiver en dernier recours et on doit le fermer pendant la belle saison (il est étonnant de constater combien de systèmes sont laissés en service tout au long de l'été). Nul besoin de mentionner que les conduites de traçage doivent être munies des purgeurs appropriés et qu'elles doivent être isolées le mieux possible. Un entretien préventif ainsi que des inspections régulières pour trouver les fuites de vapeur se traduiront également par une économie importante.

Deux techniques relativement récentes méritent d'être mentionnées. Dans le premier cas, il s'agit essentiellement de remplacer la vapeur dans les systèmes de traçage, ce qui permet de réaliser d'importantes économies sur l'entretien et le combustible. On remplace alors la vapeur dans les conduites de traçage par une solution d'eau et d'éthylène glycol spécialement inhibée, avec un point de congélation de -36° C. L'utilisation de ce système n'est rentable que dans les usines à forte consommation de vapeur de traçage; il n'exige cependant qu'un seul purgeur de vapeur — sur l'échangeur de chaleur qui réchauffe la solution dans un réservoir avant qu'elle soit pompée dans les conduites de traçage — et il peut permettre d'économiser annuellement 1 000 livres de vapeur par pied de conduite de traçage.

Une usine américiane a réduit de moitié sa consommation de vapeur de traçage en adoptant un système de transfert à l'éthylène glycol. Même si la consommation d'électricité nécessaire pour le pompage de la solution dans les conduites était supérieure, l'économie nette demeurait encore de l'ordre de 40 pour cent; le capital investi aux fins de la transformation a presque été entièrement récupéré au cours de la première année d'exploitation.

La seconde technique d'économie d'énergie n'a, en elle-même, rien d'original. Elle consiste à stopper la vapeur dans les conduites de traçage par temps chaud. Ce qui est nouveau c'est que cette opération puisse se faire automatiquement au moyen d'une soupape de contrôle à commande thermique qui s'ouvre complètement aux températures atmosphériques inférieures à 1° C et qui se ferme hermétiquement aux températures supérieures à 4° C. Cette soupape est un substitut peu coûteux au circuit de contrôle de la température et elle devrait être considérée comme un moyen de réduire la consommation de la vapeur dans les systèmes de traçage et par conséquent, d'économiser de l'argent.

À l'affût de nouvelles possibilités.

L'exploitation ainsi que l'utilisation rationnelles de la vapeur sont traitées plus en détail dans la section des études de cas. Il est à espérer que la présente brochure contribue à sensibiliser les usines qui se servent de la vapeur aux économies considérables qu'elles peuvent réaliser en améliorant notamment le rendement de la chaudière, la récupération de la chaleur, l'isolation, la réduction des besoins de vapeur, la récupération de la vapeur de détente et de l'eau de condensation, le réchauffage de l'eau

d'appoint de la chaudière au moyen de l'eau de refroidissement des machines à souder, des refroidisseurs, des compresseurs et ainsi de suite.

Les possibilités offertes ne demandent qu'à être exploitées. Il n'existe aucun obstacle physique; s'il y a des entraves bureaucratiques ou organisationnelles, par exemple si la production de la vapeur relève de l'ingénieur ou du service technique tandis que son utilisation relève des services de production . . . et que les deux refusent de travailler de concert — tranchez vous-même la question. L'économie réalisée compensera largement la diplomatie (ou la contrainte) qu'il aura fallu exercer.

Exploitation de l'air comprimé

Ces dernières années, les dispositifs et les outils pneumatiques complexes utilisés à des fins industrielles ont été considérablement améliorés. Mais aussi efficaces soient-ils, ces nouveaux instruments ne peuvent être étudiés séparément. En effet, ils font tous partie du système de production et de distribution d'air comprimé de l'usine et leur efficacité dépend de la force motrice qui les actionne.

Et pourtant, dans de nombreuses usines, les systèmes d'air comprimé ne reçoivent pas toute l'attention qu'ils méritent. Il s'en suit un gaspillage considérable d'air comprimé et une consommation inutile d'énergie; de plus, les opérateurs d'outils et de treuils pneumatiques prennent de ce fait plus de temps pour effectuer leur travail.

L'air comprimé constitue donc une source d'énergie industrielle qu'il est impérieux de soumettre à un programme d'économie d'énergie. Il s'agit d'un outil précieux dont l'utilisation et le rendement sont assez faciles à contrôler, et à l'égard duquel de judicieuses mesures d'économies d'énergie rapporteront des dividendes considérables. En bref, l'air comprimé est un domaine parmi tant d'autres où il est utile de retrousser les manches et de s'attaquer à l'économie d'énergie, une fois le travail de défrichage terminé.

Il est d'usage général, dans le monde de l'industrie, d'exprimer le débit d'un système de production d'air comprimé en air à la pression atmosphérique — ce qu'on est convenu d'appeler le débit à l'air libre — afin d'éviter d'avoir à énoncer de nouveau la pression réelle à chaque application.

Déjà, les ingénieurs industriels qui surveillent leurs dépenses énergétiques estiment que l'air comprimé coûte cher. Et avec la hausse soutenue des prix de l'énergie, il coûtera sous peu encore plus cher.

Par exemple, avec une alimentation d'air comprimé à 100 psig, il faut au moins un kilowatt de force motrice installée pour fournir un débit à l'air libre de 6 pieds cubes à la minute. Supposons que le coût de l'électricité soit de 2.5 cents le kilowatt-heure, (k Wh) et que l'usine fonctionne 48 heures par semaines ou 2 400 heures par année, il en coûtera annuellement plus de $10 000 pour une production de 1 000 pieds cubes à la minute. Il s'agit là d'un exemple extrême; lorsqu'il est possible, dans une usine, de réaliser à peu de frais des économies en améliorant l'efficacité d'une installation, même une réduction de 10 pour cent de la consommation d'énergie est bienvenue.

Lorsque la consommation et la pression d'utilisation de l'air comprimé augmentent, de concert avec la hausse du coût de l'énergie, les économies réalisées sont gonflées d'autant. Pour mieux saisir les données du problème, pourquoi ne pas procéder à une brève analyse de la consommation d'air comprimé de l'usine; en prenant pour hypothèse une certaine réduction d'énergie arbitraire, l'importance des économies possibles vous surprendra probablement.

Comment économiser de l'énergie?

Il existe bien des façons d'économiser de l'air comprimé, de l'énergie et de l'argent. Il peut suffire de simples réglages (par exemple, abaisse la pression dans le système de l'usine à partir d'un niveau arbitraire ou traditionnel jusqu'au minimum nécessaire au fonctionnement du matériel) . . . ou d'un entretien courant consciencieux (réparation des fuites dans les canalisations d'air comprimé, etc.) ou peut-être faut-il se résoudre à des mesures plus coûteuses telles le remplacement de compresseurs inefficaces par de nouveaux modèles offrant un meilleur rendement énergétique, une qualité de l'air supérieure et des économies globales plus élevées.

Pour les besoins de l'analyse, on peut diviser la matière en six articles:

1. Choix des compresseurs.
2. Utilisation optimale des compresseurs.
3. Fuites et autres foyers de gaspillage.
4. Fonctionnement efficace de l'équipement pneumatique.
5. Abaissement de la pression dans le système.
6. Récupération de la chaleur de compression.

Les sujets susmentionnés ne sont pas classés par ordre de complexité ou de coûts croissants. Nous avons tenté de les ordonner selon une progression logique qui permette au gestionnaire d'usine ou à tout autre responsable de la gestion du système d'air comprimé d'appliquer certaines notions élémentaires pour réduire la consommation d'énergie.

Il est certain que pour tirer le meilleur parti possible des renseignements contenus dans le présent fascicule, le lecteur doit d'abord comprendre la nature de son système de production et de distribution d'air comprimé et, possiblement,

vérifier son efficacité. Les tests de consommation d'énergie sont exposés en long et en large dans le premier fascicule.

1) Choix des compresseurs.

La majorité des observations concernent l'amélioration d'installations déjà en service; il est cependant utile, au départ, de mentionner un certain nombre d'éléments dont il faut tenir compte lors du choix d'un compresseur ou d'un groupe de compresseurs en vue d'une nouvelle application industrielle ou du remplacement d'une installation désuète.

Il faut avant tout décider s'il vaut mieux avoir une grosse installation centrale ou plusieurs petits compresseurs séparés situés près des points d'utilisation. Tout dépend du débit d'air comprimé nécessaire, de l'aménagement de l'usine, du type d'utilisation qu'on fait de l'air comprimé ainsi que de la durée de service quotidienne et hebdomadaire de l'installation.

Cependant, dans des conditions propices (le seuil de rentabilité semble être d'à peu près 500 pi^3/mn), l'utilisation de petits compresseurs fournissant un niveau global d'efficacité supérieur peut être très avantageux tant du point de vue de l'économie d'énergie que de la réduction des coûts; voici certains avantages d'une telle option:

- le choix de la taille de l'appareil est moins crucial. Il sera facile d'ajouter plus tard de nouveaux éléments lorsque les besoins le justifieront ou que le budget le permettra. Les études techniques préliminaires peuvent être réduites d'autant.
- les dépenses d'équipement initiales sont moins élevées. Lorsque l'on opte pour un seul compresseur, on est parfois enclin à le prendre trop gros par excès de prudence. Un gros compresseur qui fonctionne la plupart du temps à charge réduite a une efficacité énergétique bien inférieure à celle de plusieurs petits appareils qui fonctionnent à leur charge nominale.
- il est souvent plus facile et moins coûteux de récupérer la chaleur de plusieurs petits compresseurs refroidis à l'air disséminés dans l'usine et de l'utiliser pour alléger la tâche des appareils de chauffage en hiver. (Cependant, un gros compresseur central refroidi à l'eau peut permettre de récupérer le liquide de refroidissement et de s'en servir pour le nettoyage ou comme eau d'alimentation de la chaudière.)

Évidemment, chaque petit compresseur de secteur doit faire face à des périodes de pointe de la demande . . . et si les pointes des divers secteurs ne coïncident pas, il est préférable d'avoir une installation centrale qui fonctionnera vraisemblablement alors presque toujours à pleine charge.

Le choix d'un compresseur adapté aux besoins de l'usine peut également avoir une grande influence sur l'économie d'énergie. Et, lors des discussions avec les fabricants, il ne faut jamais négliger de s'enquérir des possibilités de récupération de la chaleur contenue dans l'air ou l'eau de refroidissement qu'offrent les divers modèles de machines.

Les appareils de compression étagée ainsi que d'autres types de compresseurs plus complexes peuvent également permettre une économie d'énergie considérable. Bien que, dans la plupart des cas, ces machines soient très coûteuses à l'achat, une étude préliminaire au moment du choix peut faire ressortir que ce type de compresseur va permettre de réaliser des économies considérables qui justifient son achat. Le principe de base c'est de choisir le compresseur dont le ratio du débit en pi^3/mn par rapport à la puissance au frein est le plus élevé.

2) Utilisation optimale des compresseurs.

Le bon fonctionnement des compresseurs est la clef du rendement énergétique du système. Et l'un des facteurs déterminants de ce bon fonctionnement, c'est la qualite de l'air d'admission. Il est évident que de l'air aspiré froid, propre et sec permet une meilleure compression et qu'un orifice d'aspiration couvert, à l'abri des intempéries et placé sur un mur orienté vers le nord est idéal. Il faut aussi que cet orifice d'aspiration soit relié au compresseur par un tuyau court, droit et d'un diamètre suffisant. La poussière qui pénètre dans le circuit obstrue les filtres et est une source de gaspillage d'énergie.

Pour avoir une idée des économies qu'on peut réaliser en corrigeant la qualité de l'air aspiré, il suffit de se rappeler que pour chaque 10 pouces de pression perdue à l'admission, le rendement du compresseur est réduit de 2 pour cent. De même, une élévation de 5° C de la température de l'air aspiré se traduit par une hausse de 1 pour cent de la consommation d'énergie pour un même rendement.

Entretien du compresseur: un facteur capital.

Une fois qu'il est établi que l'air aspiré par le compresseur est de qualité suffisante, il faut porter ses efforts sur l'entretien du compresseur lui-même. Le meilleur conseil que l'on puisse donner, même s'il semble superflu, c'est de suivre scrupuleusement les instructions du fabricant. C'est la meilleure façon d'obtenir un fonctionnement normal constant ainsi qu'un rendement thermique optimal.

Voici la liste des points les plus importants à vérifier:

- la tension des courroies d'entraînement.
- les engrenages de distribution, les pistons et les segments de piston des compresseurs alternatifs.
- les palettes sur les compresseurs rotatifs.
- les aubes des turbocompresseurs.

Les mêmes principes s'appliquent aux refroidisseurs intermédiaires ainsi qu'aux postrefroidisseurs qui servent à réduire la quantité d'huile et d'humidité dans l'air comprimé. À cet égard, il est primordial que les conduites d'eau de refroidissement ne soient pas entartrées ni obstruées; une purge périodique est une excellente possibilité de dépister et de corriger cette condition.

Un autre moyen d'augmenter le rendement énergétique consiste à utiliser de grands réservoirs (plus grands que 1-1.5 pieds cubes par 10 pi^3/mn); ces derniers permettent de satisfaire aux besoins d'air supplémentaires ou aux pointes de la demande sans devoir installer un compresseur plus gros qui serait condamné à fonctionner à charge réduite la plupart du temps. Lors des crêtes soudaines de demande, un réservoir supplémentaire placé près du point d'origine peut éviter la nécessité d'avoir à augmenter la puissance de refoulement et, de ce fait, permet une économie d'énergie. En dernier lieu, un dispositif de régulation aide à doser l'effet utile du compresseur et à réduire, par le fait même, sa consommation d'énergie. Il élimine également les périodes de marche à vide ainsi que les arrêts et départs inutiles, deux sources importantes de gaspillage d'énergie.

L'appareillage élémentaire comprend un manomètre sur le réservoir, des indicateurs de la température de l'eau sur la chemise de refroidissement et le postrefroidisseur (dans le cas d'un compresseur refroidi à l'eau), ainsi que des indicateurs de la température de l'air à la sortie du compresseur et dans le réservoir. Des manomètres placés à des points précis des canalisations d'air comprimé permettront également de vérifier le bon fonctionnement du système; il est bon de consigner les lectures obtenues périodiquement de même que tout autre renseignement pertinent afin de constituer une fiche de rendement.

Bien qu'il soit possible d'améliorer grandement le rendement énergétique sans avoir recours à des dispositifs de régulation complexes, ces derniers peuvent permettre de réaliser des économies importantes, particulièrement en équilibrant minutieusement la charge entre les compresseurs lorsqu'on en utilise deux (principal et de réserve) ou plus.

Un air sec est synonyme d'économie d'énergie.

L'un des rapprochements qu'on peut faire entre les machines à vapeur et les appareils à air comprimé, c'est que les deux fournissent un meilleur rendement lorsqu'il n'y a pas d'eau dans le circuit de distribution.

Dans le cas des compresseurs, l'eau entre sous forme de vapeur en même temps que l'air. À une température de 24° C et une humidité relative de 75 pour cent, un compresseur de 100 pieds cubes à la minute aspire environ 18 gallons d'eau par jour sous forme de vapeur. Environ 90 pour cent de cette eau se condense au cours de la compression et se transforme finalement en liquide dans le postrefroidisseur et la tuyauterie.

L'eau, ou la boue formée par le mélange d'huile lubrifiante et d'eau, attaque l'intérieur des conduites d'air, augmente la résistance intérieure et provoque une chute de pression qui gaspille l'énergie. La réduction de la pression de refoulement entraîne une diminution du rendement des outils pneumatiques. En outre, les piqûres et les poches de corrosion risquent d'affaiblir les tuyaux et de provoquer des fuites aux soupapes, aux joints et aux purgeurs. La présence d'eau dans les systèmes d'air comprimé peut également causer une multitude d'autres problèmes mais, en gros, ils se traduisent tous par une diminution de la productivité et du rendement énergétique.

La solution réside dans des sécheurs à air avec eau refroidie ou avec refrigérant qu'il est possible de trouver chez nombre de fabricants.

3) Fuites et autres types de pertes à éviter.

Le but du réseau de distribution est de transporter l'air comprimé du compresseur jusqu'à l'outil ou l'équipement qu'il actionne avec une perte de pression minimale. À titre de référence, un réseau à 100 psig bien conçu et bien entretenu doit fournir une pression de près de 90 psig au point d'utilisation.

Pour être sûr que le système fonctionne efficacement, il est primordial de relever la pression d'air fréquemment au cours des périodes d'utilisation intensive et de consigner à la fois la pression à l'extrémité des dérivations et au niveau des outils en marche. Les pressions enregistrées au réservoir et à l'extrémité des dérivations ne doivent pas différer de plus de 5-7 psig. Si l'écart est plus grand, il est fort possible que l'entreprise gaspille plus d'énergie et d'argent que ce qu'il lui en coûterait pour la réfection complète de son système d'air comprimé. Les conséquences de cette perte de pression sur la production sont très graves et faciles à quantifier: une chute de pression de 10 psig à l'admission de l'outil réduit sa puissance maximum de 14 pour cent; une chute de 30 psig peut amoindrir le rendement de l'outil de plus de 55 pour cent et ainsi augmenter énormément l'utilisation d'énergie par unité de production.

Dérivations, boyaux, raccordements: d'autres possibilités.

Il est important de se rappeler que les canalisations d'air principales ainsi que les dérivations, les boyaux, les raccordements et autres accessoires offrent de grandes possibilités d'économie d'énergie. Parmi les moyens de réduire la chute de pression et les fuites, et d'augmenter le rendement énergétique se trouvent:

- l'utilisation, dans la mesure du possible, de coudes à grand rayon et de joints soudés dans la tuyauterie.
- l'insertion de filtres et de graisseurs dans chaque dispositif pneumatique.
- les moyens d'éviter l'accumulation d'eau de condensation en inclinant la tuyauterie jusqu'à des canaux de purge judicieusement placés et munis de soupapes à levée automatique.

Dans la grande majorité des cas, c'est dans le boyau ou son raccord à l'outil que se produit la perte de pression la plus importante. Par exemple, un système où la pression est de 100 psig au réservoir du compresseur doit fournir 94 ou 95 psig à l'entrée du boyau, ce qui rend tolérable une perte de 4 à 5 psig dans le boyau (un choix judicieux de ce dernier peut minimiser la perte). Une vérification avec le fabricant permettra de s'assurer que les boyaux sont de taille et de longueur suffisantes pour fournir à l'équipement la pression nécessaires.

La perte de pression peut parfois provenir du frottement dans la tuyauterie. En règle générale, plus le tuyau est long et petit, plus le frottement est important. Il est possible de régler le problème en raccourcissant la longueur du tuyau ou augmentant son diamètre. Le troisième grand moyen de réduire la perte de pression dans le réseau consiste à réduire la vitesse, ou le débit de l'air qui y circule. Dans le cas de la canalisation principale de distribution du compresseur, on évite une perte excessive d'énergie en diminuant la vitesse de l'air à un maximum de 1 200 pieds/mn. Des vitesses supérieures sont admissibles dans des embranchements plus courts d'une longueur totale de moins de 50 pieds. Toutefois, il est bon de garder à l'esprit que la diminution de vitesse risque d'obliger à installer des réservoirs secondaires aux points de forte charge.

Les fuites dans la tuyauterie sont également un bon moyen de jeter l'argent et l'énergie par les fenêtres. Il se produit souvent des fuites dans les soupapes de sûreté des réservoirs d'air comprimé, dans les raccords de tuyaux et de boyaux, dans les robinets d'arrêt, dans les raccordements à déclenchement rapide ainsi que dans les outils et l'équipement. Dans les cas extrêmes, les fuites d'air comprimé comptent pour plus de 20 pour cent de la puissance perdue du compresseur. Une perte de 10 pour cent du rendement est chose banale.

Les fuites d'air semblent anodines au premier abord et, soyons honnêtes, reconnaissons qu'elles sont généralement causées par un grand nombre de petites ouvertures. Mais mises ensembles, toutes ces petites fuites entraînent un gaspillage important d'énergie; la clef du problème c'est une fois de plus l'entretien.

Dans le cas présent, entretien veut dire l'inspection régulière des soupapes à garniture d'étanchéité et le remplacement de la garniture au besoin, le changement des robinets d'arrêt et des soupapes non étanches sur l'équipement . . . en bref, vérifier régulièrement s'il y a des fuites dans les tuyaux et remplacer le matériel défectueux. Les périodes des fêtes ou des vacances annuelles constituent un temps idéal pour dépister les fuites minuscules pratiquement impossibles à découvrir parmi le bruit de l'usine. C'est le temps de mener une grande campagne d'élimination des fuites, campagne qui devra être suivie d'un programme d'entretien tout au long de l'année.

Avant la mise en oeuvre d'un programme, il est bon de faire une évaluation approximative des pertes occasionnées par l'ensemble des fuites dans les canalisations; pour ce faire, on dispose d'une méthode simple qui se fonde sur le débit à l'air libre connu du compresseur et sur l'utilisation d'une montre ordinaire.

Il s'agit de fermer l'équipement à commande pneumatique et de mettre en marche le compresseur jusqu'à obtenir la pression maximale dans les canalisations et le fonctionnement à vide du compresseur; à ce moment, noter l'heure. Les fuites abaissent alors la pression dans le circuit et le compresseur recommence à fonctionner en charge; dès lors noter l'heure à nouveau. La durée des périodes de fonctionnement en charge et à vide du compresseur doit être relevée au moins quatre fois, puis il faut faire la moyenne.

Si:

T minutes	=	Temps en charge
t minutes	=	Temps à vide
Q	=	Débit à l'air libre du compresseur en pieds cubes à la minute
L	=	Total des fuites dans le système d'air non comprimé en pieds cubes à la minute

On calcule ainsi la valeur de "L" $= \frac{Q \times Tpcm}{(T + t)}$

Dès lors, la puissance perdue $= \frac{L kW}{6}$

Les pertes d'air comprimé sont synonymes de pertes d'argent (voir le tableau à la section traitant de la vapeur). Par conséquent, lorsque vous entendez un chuintement dans la tuyauterie, imaginez-vous plutôt qu'il s'agit d'un froissement de billets de banque et votre zèle à faire effectuer les réparations s'en trouvera stimulé.

4) Fonctionnement efficace de l'équipement pneumatique.

L'équipement à commande pneumatique représente le dernier maillon du circuit d'air comprimé et il va sans dire que, à moins de recevoir de l'air comprimé de qualité, les cylindres, les outils pneumatiques et les soupapes de contrôle directionnel ou toute autre pièce d'équipement, les joints et les autres pièces mobiles s'y useront

rapidement, provoquant inéluctablement une diminution du rendement, des fuites dans le système et un gaspillage consécutif d'énergie.

Dans le cas présent, il est tout aussi important de suivre un programme d'entretien bien conçu non seulement pour l'équipement à commande pneumatique mais également pour "les unités de conditionnement", c'est-à-dire les filtres, les régulateurs de pression et les graisseurs qui gardent en état les outils et les cylindres afin de conserver au système sont efficacité et son rendement énergétique maximum.

Pour enlever le tartre, l'eau et l'huile du compresseur qui risquent de se combiner pour former des substances fortement abrasives, il faut placer des filtres aussi près que possible de l'équipement qui consomme l'air comprimé. Ces filtres doivent être nettoyés régulièrement et il faut remplacer les éléments obstrués par les impuretés, qui sont la source d'une baisse de pression excessive et d'un gaspillage d'énergie.

Le degré d'épuration doit être adapté aux fins visées. Plus le filtrage est serré, plus vite la poussière s'accumule et plus tôt le filtre se bouche.

Dans le cas des appareils de mesure pneumatiques et autres types d'appareils exigeant un air particulièrement pur, il peut être nécessaire d'utiliser des filtres extrêmement efficaces afin d'enlever toute trace d'eau ou de gouttelettes d'huile. Ce genre de filtre peut aisément provoquer une chute de pression intempestive si on laisse la saleté les obstruer; non seulement conseille-t-on de le protéger contre les corps étrangers en plaçant un filtre d'appoint devant lui mais aussi suggère-t-on de contrôler périodiquement la pression pour pouvoir prendre les mesures qui s'imposent en cas de baisse de pression excédant la limite fixée par le fabricant.

De plus, il ne faut jamais faire fonctionner l'équipement à une pression supérieure à la pression d'utilisation prescrite. Non seulement cela provoque-t-il un gaspillage d'énergie et une usure excessive mais encore est-ce dangereux.

Dans certains cas, par exemple, avec les ajutages qui expulsent l'air directement dans l'atmosphère à des fins de nettoyage ou de refroidissement, le fonctionnement à pression élevée n'entraîne pas uniquement un gaspillage d'énergie considérable — un ajutage d'un quart de pouce à 100 psig a un débit d'énergie de 15 kilowatts. La pression appliquée à l'ajutage doit être réduite à un niveau plus sûr et plus économique ou, dans le cas de l'air de refroidissement, il faut utiliser des souffleries ou des ventilateurs à basse pression. Les dépenses d'équipement pour des dispositifs servant à transformer un faible débit d'air à haute pression en un débit élevé à basse pression rapporteront rapidement des dividendes dans le domaine du refroidissement à l'air ou d'autres applications du même genre.

Le graissage du matériel pneumatique est très important. À cette fin, il est préférable d'installer des dispositifs de graissage spéciaux au lieu de compter sur l'opérateur qui débranche un joint de boyau et injecte de l'huile avec une burette.

Le dispositif de graissage doit également être gardé en bon état et l'on doit s'assurer qu'il contient toujours de l'huile propre. En plus de réduire le frottement et, par conséquent, la consommation d'énergie, le graissage empêche l'usure des garnitures d'étanchéité et d'autres pièces qui subissent un frottement; on évitera ainsi le gaspillage d'énergie causé par une consommation d'air excessive ou les fuites. Voici une liste des points à contrôler:

- Boyaux fendillés ou usés — remplacer
- Robinets de purge — fermer (il serait encore mieux de les remplacer par un dispositif automatique).
- Chuintements aux raccords de tuyaux et aux soupapes — réparer, ajuster ou remplacer la pièce.

5) Utilisation d'une pression plus basse.

Une fois l'entretien normal assuré et les fuites réduites au minimum, on doit s'appliquer à abaisser la pression d'air en faisant fonctionner l'équipement à une pression inférieure à la pression de ligne, surtout lorsqu'il est possible de réduire réellement la pression de refoulement maximale.

Comme l'indique le tableau ci-dessous, la suggestion présentée dans le paragraphe offre de très grandes possibilités d'économie d'énergie:

Un étage			
Pression (psig)	100	90	80
Réduction de la puissance	—	-4%	-9%
À deux étages — refroidi à l'eau			
Pression (psig)	100	90	80
Réduction de la puissance	—	-4%	-11%
À deux étages — refroidi à l'air			
Pression (psig)	100	90	80
Réduction de la puissance	—	-2.6%	-6.5%

Dans de nombreuses usines, une grande partie de l'équipement pneumatique (pistolets vaporisateurs, jets de refroidissement, treuils, dispositifs de commande, etc.) fonctionne à une pression supérieure à celle que recommande le fabricant. Il en résulte un gaspillage d'énergie considérable. Par exemple, lorsqu'un régulateur de pression peut être monté sur la source d'alimentation d'une canalisation principale à pression variable de 85 à 105 livres le pied carré et qu'on parvient à abaisser la pression à 80 psig pour une pièce d'équipement à laquelle cette pression

convient bien, il est possible de réaliser une économie d'énergie de 14 p. 100. Si l'on diminue la pression jusqu'à 70 psig, on obtient alors une économie de près de 24 p. 100.

Les cylindres à air comprimé à double effet sont également beaucoup utilisés notamment sur les installations et les machines de production automatiques ou automatisées. Souvent un certain nombre de pistons n'exercent une poussée totale que dans une direction, l'autre n'étant qu'une simple course de retour sans effet. Dans ce cas, on peut arriver à réaliser d'importantes économies en réduisant la pression pour la course de retour.

Par exemple, un cylindre à double effet qui fonctionne à 80 psig se comporte généralement tout aussi bien si l'on réduit la pression de 20 psig pour la course de retour du piston, ce qui permet d'abaisser la consommation de plus de 32 p. 100 par cycle.

De même, l'utilisation de réservoirs collecteurs à distance près des foyers de charge périodique peut améliorer grandement l'efficacité des outils de production et permettre de réduire la pression dans les canalisations.

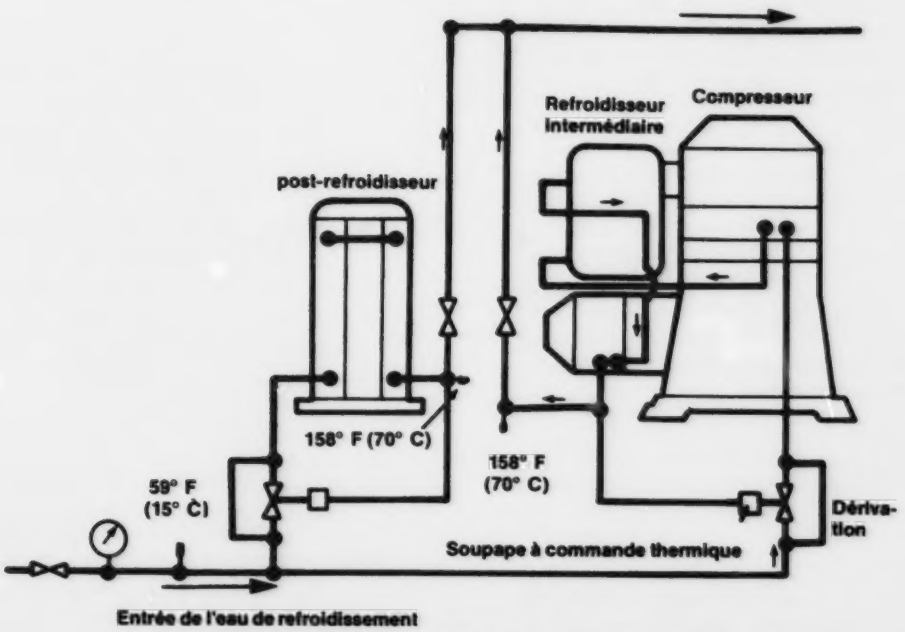
On peut abaisser encore la consommation jusqu'à 50 p. 100 en transférant de l'air d'échappement à haute pression de l'extrémité utile du cylindre dans une source d'alimentation à basse pression destinée à la course de retour et à d'autres fins. Le cas échéant, la soupape d'échappement auxiliaire fonctionne de concert avec la soupape de contrôle principale, de sorte qu'à la course de retour, l'échappement à haute pression est dirigé d'abord vers le réservoir; lorsque la pression s'équilibre, la soupape secondaire est repoussée en arrière et repousse l'échappement dans la soupape de contrôle principale de la manière normale.

6) Récupération de la chaleur de compression.

L'énergie utilisée par un compresseur se transforme en chaleur; voilà donc un domaine où il existe de grandes possibilités d'économie d'énergie. En effet, presque toute l'énergie peut être utilisée à d'autres fins et la moindre récupération représente toujours une économie importante. Idéalement, il serait bon de consulter le fabricant au moment de l'achat d'un compresseur et de tenir compte du facteur économie d'énergie lors de l'installation d'un nouvel appareil. Cependant, il peut exister de nombreuses pièces d'équipement (en particulier des refroidisseurs) dont la chaleur de l'air, l'eau ou l'huile pourrait être récupérée et utilisée.

Dans toutes les installations à air comprimé classique, la majeure partie de l'énergie transmise au compresseur par le moteur électrique est extraite par les fluides de refroidissement du compresseur afin de maintenir des températures de travail raisonnables, par le refroidisseur intermédiaire pour améliorer l'efficacité du système et par le postrefroidisseur pour enlever l'humidité de l'air comprimé. L'agent de refroidissement est l'eau ou l'air et la chaleur extraite est généralement perdue.

Par exemple, un compresseur qui débite 100 pieds cubes à la minute (26 HP) et qui travaille à 100 psig peut dégager plus de 65 000 Btu de chaleur à l'heure!



Circuit de l'eau de refroidissement offrant de bonnes possibilités de récupération de la chaleur et de réduction de la consommation de l'eau de refroidissement

Souvent, il est possible de placer les compresseurs de façon que leur chaleur puisse aisément être transportée à un endroit qui, par exemple, a besoin de chauffage. On peut habituellement obtenir des températures allant de 45°C à 70°C au-dessus de l'air ambiant dans le cas de l'eau de refroidissement et de 9°C à 18°C dans le cas de l'air de refroidissement. Il n'est pas toujours facile d'assurer l'intégration avec les systèmes de chauffage mais les économies réalisées compenseront les frais d'investissement.

Il est impossible de récupérer toute l'énergie du compresseur mais, grâce à diverses méthodes, on peut obtenir de très bons résultats.

Avec les compresseurs refroidis à l'eau, une grande partie de l'énergie fournie peut être récupérée sous forme d'eau chaude qui, utilisée ensuite pour le chauffage, alimente les chaudières dans les bacs de lavage, les réservoirs de vaporisation et autres.

Dans le cas des compresseurs à l'air, l'air chaud provenant du refroidisseur intermédiaire et du postrefroidisseur peut être acheminée jusqu'à une pièce attenante et utilisée pour le chauffage; le taux de récupération peut alors atteindre les 80 p. 100. Pour garder la pièce à une température constante en dépit des fluctuations de la charge du compresseur, il faut avoir recours à un clapet de recirculation.

Résumé:

Les systèmes de production et de distribution d'air comprimé constituent un domaine où il est possible de réaliser d'importantes économies d'énergie relativement à la plupart des procédés en usine. Étant donné le volume d'équipement que sa production et sa distribution nécessitent, l'air comprimé doit être considéré comme un système et les mesures à prendre relativement à l'économie d'énergie doivent être envisagées d'une façon systématique.

Des priorités du programme d'exploitation rationnelle de l'air comprimé de chaque usine dépendront d'une foule de facteurs particuliers. Mais partout, il est impératif de procéder à une étude complète et poussée des installations pour tenter de réaliser des économies maximales.

Que chacun jette un coup d'oeil sur son propre système d'air comprimé. Il y a de fortes chances que les possibilités d'amélioration du rendement énergétique soient nombreuses.

ÉTUDES DE CAS

Le compresseur refroidi à l'air produit une chaleur utilisable

Exposé du cas: L'entreprise Leigh Metal Products de London, en Ontario, doit remplacer quatre petits compresseurs refroidis à l'eau; tous sont désuets et ne peuvent fournir ensemble le débit d'air comprimé nécessaire pour les opérations de production.

Mesure prise: Avant le choix des modèles refroidis à l'air et d'autres refroidis à l'eau, l'entreprise choisit un compresseur à vis de 40 HP produisant de 160 à 180 pieds cubes à la minute. La compagnie utilise déjà l'eau de refroidissement de la machine à souder par points pour alimenter la section de lavage du département de la préparation du métal et elle n'a pas d'usage possible pour le liquide de refroidissement d'un compresseur refroidi à l'eau. En revanche, elle pourrait utiliser plus de 100 000 B.t.u. de chaleur tirée de l'air de refroidissement d'un compresseur du type voulu. Ce dernier serait placé près du kiosque de vaporisation, secteur froid qui soulève les récriminations des employés. La compagnie opte alors pour un compresseur refroidi à l'air dont l'air de refroidissement est acheminé au kiosque de vaporisation pendant les mois d'hiver et évacué dans l'atmosphère en été. L'appareil est entouré d'un mur en parpaigns afin d'amortir le bruit et d'obtenir un meilleur contrôle de l'air.

Économies réalisées

Énergie: 100 000 + B.t.u./h. De plus, on évite d'accroître la consommation d'eau.

Dollars: (Chiffre estimatif) 100 000 B.t.u./h x 2080 h/an = 208 millions B.t.u./an = 208 000 pi^3 @ $2 = $516/an.

Coût des améliorations: Installation des canalisations et main-d'oeuvre: $300.

Recommandation: Il faut envisager d'utiliser l'échappement ou la chaleur des compresseurs refroidis à l'air des salles d'informatique pour le chauffage.

Économies de combustible grâce à un dispositif de nettoyage automatique des tubes bouilleurs

Exposé du cas: Un fabricant de conteneurs remarque que la suie qui s'accumule sur la surface des tubes bouilleurs agit comme un isolant et réduit l'efficacité générale des deux chaudières de l'entreprise. Normalement, on arrête périodiquement (une ou deux fois par semaine) les chaudières pour nettoyer à la main chacun des tubes.

Mesure prise: L'entreprise installe un dispositif de nettoyage automatique des tubes qui entre en action au moins toutes les 30 minutes pour nettoyer chaque tube au moyen de jets d'air comprimé de force réglable. Un catalyseur est en outre injecté automatiquement autour des tubes pour réduire la suie et les émissions de fumée dans l'atmosphère.

Économies d'énergie et d'argent: Des nettoyeurs automatiques ont été installés sur deux chaudières à tubes de fumée au cours de l'année 2. L'une avait une puissance nominale de 400 HP (13 400 B.t.u/h), l'autre de 500 HP (16 700 B.t.u/h). Le tableau qui suit indique la consommation réelle de mazout ainsi que le nombre de degrés — jours pour l'année précédant l'installation et les deux saisons de chauffage consécutives.

Année	Consommation de mazout no 6 gallons	Degrés-jours	Gallons/ degrés-jours
1	373 062	4 147	89,96
Avec un nettoyeur automatique de tubes			
2	349 773	4 196	83,36
3	327 712	3 942	83,13

Pour les deuxième et troisième années de chauffage,
Moyenne en gallons/degrés-jours
= (83,36 + 83,13)/2
= 83,25 gal/degrés-jours

Pourcentage moyen des économies de combustible après l'installation du nettoyeur automatique des tubes:
Pourcentage d'économie

$$= \frac{89{,}96 - 83{,}25}{89{,}96} \times 100\%$$

= 7,46%

Économies annuelles de combustible
= 373 062 gal/an X 0,0746
= 27 830 gal/an

Si le mazout no 6 a un pouvoir calorifique de 152 000 B.t.u./gal américain,
L'économie annuelle d'énergie
= 152 000 B.t.u./gal am. X 27 830 gal/an
= 4 230 MMBtu./an

Si le mazout coûte 30 cents le gallon américain, l'économie d'argent annuelle
= 27 830 gal/an X 0.30/gal
= $8 350 par année

Coût de l'équipement installé = $9 550.

Outre les économies annuelles de $8 350 attribuables à la réduction de la consommation d'énergie, l'installation des nettoyeurs automatiques a permis d'éliminer les dépenses d'entretien auparavant occasionnées par le nettoyage périodique des tubes (la chaudière de 400 HP a 273 tubes et celle de 500 HP, 293)

Coût des améliorations: $9 550.

Recommandation: Songer à installer des dispositifs automatiques pour garder les tubes bouilleurs propres et en mesure de fournir un rendement maximal. Une vérification rapide du rendement de la chaudière est possible au moyen d'un thermomètre placé dans les gaz brûlés, le plus près possible du dernier groupe de tubes. Si la température des gaz dépasse celle de l'eau et de la vapeur de plus de 38° C, il est possible de réaliser des économies de combustible.

Réduction de la purge des chaudières grâce au traitement de l'eau d'alimentation

Exposé du cas: À la mine Stobie de l'Inco, le comité de l'économie d'énergie se préoccupe du fait que, pour maintenir à un niveau admissible la concentration de solides dissous et en suspension dans l'eau des chaudières de chauffage, il faut sacrifier 8 p. 100 de la production moyenne (y compris le traitement chimique) de la chaudière dans les purges. Or, l'eau de purge contient beaucoup de chaleur et cela équivaut à un sérieux gaspillage d'énergie; des études ont fait ressortir qu'il était possible de réduire la purge de moitié grâce au contrôle régulier et automatique du traitement de l'eau d'alimentation.

Jusqu'alors, le traitement chimique de l'eau d'alimentation consistait à appliquer, par intermittence, des produits chimiques conçus pour réduire la corrosion et l'entartrage dans les trois chaudières dont la production totale s'élève à 150 000 livres de vapeur par jour.

Mesure prise: Un dispositif polyvalent de traitement des chaudières, en plus d'un équipement d'alimentation à contrôle automatique, sont installés à prix modique.

Économies réalisées

Énergie: La purge des chaudières ayant été réduite d'environ 4 p. 100, l'économie d'énergie annuelle s'élève à 2 900 MMBtu.

Dollars: 2 900 MMBtu/an @ $2/MMBtu = $5 800/an.

Coût des améliorations: $850.

Recommandation: Avant d'envisager de nouvelles façons d'utiliser l'eau de purge des chaudières, il est préférable de prendre tous les moyens possibles pour réduire la purge elle-même. Un traitement plus efficace de l'eau d'alimentation des chaudières constitue indubitablement l'un de ces moyens.

Installation d'un compteur: fusionnement et élimination

Exposé du cas: Au cours d'une période de plus de 20 ans, à la principale installation de fabrication de *Griffith Laboratories* de Scarborough, en Ontario, on a installé cinq chaudières chauffées au gaz dans divers coins de l'usine. À l'origine, un règlement provincial exigeait que ces chaudières fonctionnent de façon entièrement autonome à moins qu'un mécanicien de machines fixes n'en assure l'entretien. La consommation du gaz des chaudières n'a jamais été vérifiée. À cause de la hausse des factures énergétiques et de l'entrée en vigueur de nouveaux règlements permettant de grouper des chaudières semblables dans un collecteur commun (avec certaines restrictions de puissance) sans la surveillance d'un ingénieur à temps plein, l'entreprise décide d'étudier le rendement des chaudières.

Mesure prise: L'installation d'un compteur à gaz sur chaque chaudière conduit aux constatations suivantes: la plus ancienne des chaudières fonctionne à 92 p. 100 de sa capacité; trois autres fonctionnent à 40 p. 100 de leur capacité ou moins; la cinquième chaudière est gardée en réserve, et nécessite des mises en températures, de l'entretien et des vérifications périodiques.

Deux mesures sont prises:

1. l'entreprise constate que les méthodes d'évaluation des coûts ne tiennent pas compte de la consommation de gaz de la chaudière la plus ancienne et que cette dernière n'est pas rentable. On décide de supprimer graduellement le processus de fabrication, de fabriquer le produit d'une manière différente; l'achat d'une chaudière neuve sera ainsi évité;
2. les études démontrent que l'entreprise n'a besoin que de deux chaudières. Deux chaudières sont donc démontées et vendues, et les deux autres, rattachées à un collecteur commun; l'une fonctionne à 80 p. 100 et l'autre est gardée en réserve pour les périodes de pointe.

Économies d'énergie et d'argent: La réduction de la consommation de gaz due à l'élimination de trois chaudières permet de réaliser des économies de $35 000. On prévoit également épargner grâce à la diminution des besoins en eau d'appoint, en eau de refroidissement et en électricité, à la réduction des travaux d'entretien et à la récupération de la chaleur des gaz de carneau.

Coût des améliorations: $86 000.

Recommandation: Il est préférable de ne pas considérer le rendement des chaudières ou de tout autre équipement de combustion comme une donnée immuable. Il s'agit d'un domaine où beaucoup d'économies sont possibles. Dans le cas de *Griffith Laboratories*, on a économisé en un an, grâce à la mise hors service graduelle de la vieille chaudière et au changement de méthode de fabrication, plus qu'il n'en fallait pour rembourser les $1 000 par chaudière qu'a coûté l'installation des cinq compteurs à gaz.

L'élimination des fuites d'air comprimé permet d'économiser de l'énergie

Exposé du cas: À l'usage *International Harvester* d'Hamilton, en Ontario, la réparation des fuites dans les canalisations d'air comprimé ne se fait en général que lorsqu'elles entraînent des retards de production.

Mesure prise: L'entreprise met sur pied un programme complet de réparation immédiate des fuites et d'entretien ultérieur pour les corriger dès leur apparition. Des fuites faisant perdre 1 069 pieds cubes à la minute (voir le tableau ci-dessous) sont réparées au cours de la phase choc du programme.

Économies réalisées

Énergie:

Diamètre des orifices	Nombre d'orifices		Perte/orifice		Fuites d'air
1/64	2	×	0,244	=	0,488 pi³mn
1/32	150	×	0,973	=	145,950 pi³mn
1/16	93	×	3,900	=	362,700 pi³mn
1/8	14	×	15,570	=	217,980 pi³mn
1/4	1	×	62,300	=	62,300 pi³mn
3/8	2	×	140,100	=	280,200 pi³mn
1/2	0	×	249,240	=	0 pi³mn
3/4	0	×	560,871	=	0 pi³mn
Total (des fuites)					1069,618 pi³mn

Pertes d'énergie

$$1069{,}618\ \text{pi}^3\text{mn} \times \frac{500\ \text{HP} \times 0{,}746\ \frac{\text{kW}}{\text{HP}} \times 3{,}413\ \frac{\text{B.t.u.}}{\text{kWh}} \times 8{,}760\ \frac{\text{h}}{\text{an}}}{2{,}800\ \text{pi}^3\text{mn}}$$

= 4,260 millions B.t.u./an

Dollars:

Coût de l'énergie

$$1069{,}618\ \text{pi}^3\text{mn} \left[\frac{500\ \text{HP} \times 0{,}746\ \frac{\text{kW}}{\text{HP}} \times 12\ \frac{\text{mois}}{\text{an}} \times \frac{\$3{,}60}{\text{kW (besoins)}}}{2{,}800\ \text{pi}^3\text{mn}} + \frac{500\ \text{HP} \times 0{,}746\ \frac{\text{kW}}{\text{HP}} \times 8{,}760\ \frac{\text{h}}{\text{an}} \times \frac{\$0{,}0105}{\text{kW (consommation)}}}{2{,}800\ \text{pi}^3\text{mn}} \right]$$

= $19,274,52/an

Coûts des améliorations:

Frais de réparation
254,6 heures-hommes X $9,51/heures-hommes + $350,34 de matériel = $2 686.

Recommandation: L'un des meilleurs investissements qu'une entreprise puisse faire en vue d'économiser de l'énergie c'est de mettre sur pied un programme de réparation systématique des fuites d'air comprimé et de vapeur.

L'entretien des canalisations d'air comprimé permet de se passer d'un compresseur

Exposé du cas: À l'usine de Thorold, (Ont.) de l'*Ontario Paper Company*, la direction est consciente des grandes possibilités d'économie d'énergie et d'argent que peut lui procurer l'élimination des fuites dans son réseau à air comprimé à 95 psig. Le réseau de l'usine se compose de trois appareils de 1 400 pieds cubes à la minute actionnés par des moteurs de 300 HP et d'un autre de 2 400 pieds cubes à la minute avec un moteur de 450 HP. On sait que les fuites se situent dans le refroidisseur intermédiaire, dans l'un des compresseurs et dans les canalisations de l'usine; étant donné l'intensité du bruit ambiant, il est toutefois difficile de dépister et de réparer toutes les fuites, sauf les plus importantes et les plus évidentes.

Mesure prise: Les ingénieurs de l'usine profitent d'une période de relâche pour lancer un programme de dépistage et de réparation des fuites d'air comprimé. Ils réussissent à situer et repérer toutes les fuites et à en réparer une partie. Le reste des fuites est subséquemment réparé dans le cadre d'un programme d'entretien à long terme après la reprise de la production. On constate que le refroidisseur intermédiaire défectueux est à l'origine de 30 p. 100 des fuites et on le remplace.

Économies d'énergie et d'argent: À la fin du programme, l'entreprise se rend compte qu'elle peut se passer d'un de ses compresseurs de 300 HP et économiser ainsi $25 000 par année en énergie électrique.

Coût des améliorations: Non disponible.

Recommandation: Profiter d'une période de relâche pour lancer un programme de réparation des fuites d'air comprimé. Une fois le programme terminé, il est fort possible que l'on puisse, sinon éliminer complètement un compresseur comme l'*Ontario Paper*, du moins en réduire la puissance utile maximale. Dans les deux cas, on pourra réaliser des économies d'argent importantes grâce à des frais d'investissement peu élevés. (L'*Ontario Paper* a calculé qu'il serait possible d'obtenir une réduction supplémentaire de 7,5 p. 100 de la puissance utilisée et de ce fait une autre économie

de $6 000 par an si l'on arrivait à abaisser la pression de l'air dans la canalisation principale à 80 psig.

Utilisation de l'eau de refroidissement des compresseurs comme eau d'appoint des chaudières

Exposé du cas: La direction de l'entreprise *3M Canada Ltd.* de London, en Ontario, a pris conscience, il y a quelques années, des économies d'énergie et d'eau qu'elle pourrait réaliser grâce à un système chargé de recueillir l'eau de refroidissement des compresseurs et de l'utiliser comme eau d'alimentation des chaudières, en y ajoutant au besoin de l'eau de la municipalité.

Mesure prise: Environ 2.5 millions de gallons par an d'eau de refroidissement des compresseurs provenant des refroidisseurs intermédiaires et des postrefroidisseurs sont recueillis dans un réservoir tampon. Cette eau est ensuite pompée dans le système d'alimentation des chaudières avant les adoucisseurs par zéolites de sodium. Pendant la saison estivale, le volume de l'eau de refroidissement des compresseurs est plus que suffisant pour fournir les chaudières, et sa température, à son entrée dans le circuit, est de 38° C à 43° C. Pendant l'hiver, saison où les besoins plus grands de vapeur nécessitent une plus grande quantité d'eau d'appoint, on a recours à l'eau municipale pour suffire à la demande excédentaire. De plus, en hiver, l'eau municipale est d'environ 17° C plus froide que l'été, ce qui diminue le volume d'eau de refroidissement qui peut être récupérée.

Économies réalisées

Énergie: Pendant l'année, le système a permis d'épargner 8 000 gallons de mazout lourd "C" et environ 2,5 millions de gallons d'eau.

Dollars:

Énergie: 8 000 gal/an @ $0.35/gal
= $2 800/an

Eau: 2,5 millions gal/an = 400 000 pi^3 @
$0 003/$pi^3$ = $1 200/an
Total = $4 000/an.

Coût des améliorations: En utilisant l'excédant de matériel déjà disponible à l'usine, le coût total des installations n'atteint pas $500.

Recommandation: L'eau de refroidissement des compresseurs, des machines à souder par points et d'autres machines peut servir d'eau d'alimentation réchauffée pour les chaudières, pour les cycles de lavage et de rinçage ainsi qu'à diverses autres fins analogues. Les systèmes sont habituellement simples et peu coûteux à installer et à exploiter et il s'agit d'un investissement qui rapporte d'interressants dividendes en chaleur récupérée et diminution de la consommation d'eau.

Utilisation d'un pyromètre par contact pour le dépistage des purgeurs de vapeur défectueux

Exposé du cas: *Dominion Foundries and Steel limited (DOFASCO)* de Hamilton considère que l'une des plus grandes difficultés de l'entretien des purgeurs de vapeur c'est de déceler les purgeurs défectueux. Des problèmes bien particuliers se posent lorsque les canalisations de plusieurs purgeurs sont reliées à un réservoir d'eau de condensation commun.

Mesure prise: La *DOFASCO* étudie la possibilité d'utiliser des stéthoscopes et un appareil photographique à cellule sensible à l'infrarouge pour déceler les fuites; elle en arrive à la conclusion que l'outil le plus fiable est le pyromètre par contact. Cet appareil sert à mesurer la température superficielle des tuyaux de décharge de purgeur. En se fondant sur le genre de purgeurs et sur les conditions de la vapeur, la *DOFASCO* réussit à créer un lien entre la température de sortie et l'importance des fuites. Elle utilise dorénavant cette technique dans le cadre de son programme d'entretien des purgeurs.

Économies réalisées

Énergie: L'économie d'énergie possible est d'environ 10 000 lb/h de vapeur.

10 000 lb/h X 1 300 B.t.u./lb X 8 760 h/an ÷ 0.8 (rendement de la chaudière) = 142 350 MMBtu/an de combustible.

Dollars: 142 350 MMBtu/an X $2/MMBtu = $284 700/an. Le coût estimatif du dépistage de fuites et de la réparation des purgeurs de vapeur défectueux est de $20 000 à $25 000; les économies possibles en valent cependant la peine.
Économie nette en dollars: $260 000 par année.

Recommandation: Mettre en application un programme complet d'entretien des purgeurs de vapeur. Les conditions relatives à la vapeur et aux purgeurs ne sont jamais les mêmes et il est nécessaire d'effectuer des vérifications précises pour évaluer les rapports entre les températures de sortie et l'importance des fuites.

L'injection directe de vapeur peut économiser de l'énergie

Exposé du cas: Une usine a des besoins de 30 gal/mn d'eau chauffée à la vapeur de 15° C à 71° C pendant 4 000 heures par année. La méthode classique qui consiste à utiliser un serpentin de chauffage et un purgeur de vapeur entraînerait un gaspillage considérable d'énergie dans la canalisation de retour de l'eau de condensation. Pendant le trajet de retour de l'eau de condensation vers la chaudière, sa température descend à 49° C.

Mesure prise: L'entreprise utilise l'injection directe de vapeur pour chauffer l'eau, épargnant ainsi 14,5 B.t.u. par livre d'eau chaude produite (on suppose que le rendement de la chaudière est de 75 p. 100).

Économies réalisées

Énergie: 30 gal/mn X 8,34 lb/gal X 60 mn/h X 4 000 h/an X 14,5 B.t.u./lb = 870 MMBtu/an.

Dollars: 870 MMBtu/an = 870 000 pi^3/an @ \$2/1 000pi^3 = \$1 740/an.

Coût des améliorations: non disponible; cependant, le coût direct est probablement inférieur à celui d'un système du même genre pourvu d'un serpentin et d'un purgeur de vapeur.

Recommandation: Étudier la possibilité d'avoir recours à l'injection directe de vapeur pour réchauffer l'eau et les solutions aqueuses; il est ainsi possible d'économiser de l'énergie et d'épargner les frais d'installation et d'entretien des échangeurs de chaleur, des purgeurs et des canalisations de retour de l'eau de condensation. Il est bon de garder à l'esprit que si l'injection de vapeur est utilisée pour chauffer une solution aqueuse, il faut tenir compte de l'effet de dilution de la vapeur condensée. Une utilisation intensive de la vapeur exige l'application de divers traitements ainsi que l'adjonction d'un supplément d'eau d'appoint et il faut en tenir compte dans les calculs de rentabilité.

L'air comprimé remplacé par un ventilateur soufflant

Exposé du cas: Dans une usine de la *General Motors*, à la section de séchage d'une opération de lavage par détergent, on utilise de l'air comprimé à 100 psig pour enlever le liquide servant à dégager les moulages des tableaux de bord. Comme il s'agit d'une utilisation peu efficace de l'air comprimé du circuit de l'usine, la consommation d'énergie a pris des proportions excessives.

Mesure prise: L'installation d'un ventilateur soufflant de 30 HP pour le séchage des pièces. L'utilisation d'air comprimé pour le cycle de séchage est suspendue.

Économies réalisées

Énergie: Consommation antérieure: 1 500 pi^3mn X 9,5 B.t.u./pi^3 X 60 mn/h X 12h/jour X 235 jours/an = 2 411 MMBtu/an.

Consommation actuelle: 36A X 480 V X $\sqrt{3}$ X 0,8 X $\frac{1kW\ X}{1000}$ 12 X 3413 = 230 MMBtu/an.

Énergie économisée = 2 411 -230 = 2 181 MMBtu/an.

Économie d'argent:

2181 MMBtu = $\frac{2181\ MMBtu}{3414}$ = 639 000 kWh @ \$0,025 Kwh = \$15 975/an.

Coût des améliorations: \$5 000 comprenant l'équipement, les canalisations et la main-d'oeuvre.

Recommandation: Chercher à remplacer l'utilisation de l'air comprimé par des solutions moins coûteuses quand c'est possible.

Le traitement de l'eau d'alimentation garde les tubes bouilleurs propres et économise de l'énergie

Exposé du cas: La prévention de l'entartrage, même avec une chaudière de moins de 500 HP, permet des économies d'énergie de \$30 000 par année et plus, selon l'épaisseur et la composition chimique du tartre.

Mesure prise: Supposons une chaudière de 500 HP à son rendement maximal de 16,74 MMBtu/h en vapeur ou environ 16 700 lb de vapeur/heure. Avec un rendement de 75 p. 100 et un fonctionnement de 8 000 heures/an:

Consommation énergétique annuelle = 16,74 MMBtu/h X 8 000 h/an X 1/0,75 = 178 560 MMBtu.

Exemple A: S'il y a une formation d'une couche de tartre de 1/32 po d'épaisseur sur les tubes et que le tartre est de composition normale (sels de calcium et de magnésium), on se rend compte, en consultant un tableau, qu'il y a une perte d'énergie de 2%. Dans ces conditions,

Pertes d'énergie annuelles
= 178 560 MMBtu X 0,02.
= 3 570 MMBtu par année.
Si le tartre est enlevé et que l'on prend les mesures nécessaires de prévention, si l'on suppose que le mazout utilisé a une valeur calorifique de 140 000 B.T.U./gal américain et qu'il coûte \$0,35 le gallon, on arrivera au résultat suivant:

Économies d'argent
= 3 570 MMBtu X 1/0,144 MMBtu/gal X 35¢/gal.
= \$8 680 par année.

Exemple B: Si une couche de tartre de même épaisseur se forme, mais dont la teneur en fer et en silice est plus élevée, on constate en regardant le tableau, une perte de 7%.

Pertes d'énergie annuelles
= 178 560 MMBtu X 0,07.
= 12 500 MMBtu par année.
Si on enlève le tartre, qu'on prend les mesures de prévention nécessaires et que l'on adopte les mêmes hypothèses que pour le mazout:

Économies d'argent
= 12 500 MMBtu X 1/0,144 MMBtu/gal X \$0,35/gal.
= \$30 400 par année.

Recommandation: Inspecter visuellement les tubes bouilleurs pendant que la chaudière est arrêtée pour l'entretien afin de voir s'ils sont entartrés. Les

indices de l'entartrage qu'on peut déceler lorsque la chaudière est en service comprennent notamment la diminution de la production de vapeur, l'accroissement de la consommation de combustible et la hausse de la température de la cheminée. S'il y a présence de tartre, songer à modifier le traitement de l'eau d'alimentation et la liste des additifs chimiques. Le coût des modifications dépend beaucoup des installations de traitement déjà en place, des problèmes d'ordre chimique qui risquent de se présenter et de divers autres éléments.

Utilisation d'un nouveau fluide caloporteur dans les réseaux de traçage

Exposé du cas: Une usine spécialisée en chimie organique constate qu'elle gaspille énormément d'énergie dans le circuit de traçage à la vapeur de 32 000 pieds linéaires de ses canalisations de traitement. Le circuit de traçage utilise de la vapeur industrielle qui maintient le produit chauffé à 186° C alors que 120° C serait suffisant.

Mesure prise: L'entreprise a transformé son circuit de traçage à la vapeur en un système de transport de chaleur à l'éthylène glycol et y a ajouté un échangeur à calandre.

Économies réalisées

Énergie: Le circuit de traçage à la vapeur consomme en moyenne 23 lb/h de vapeur par 100 pieds de tuyaux. Le système de transfert de chaleur peut se contenter de 8 lb/h si les conditions de traitement sont favorables pour réchauffer le liquide à 120° C.

Énergie: Économie possible = (23,3 - 8,0) lb/100 pi/h X 8 760 h/année X 32 000 pi = 42,9 milliards lb/année de vapeur.

On arrive ainsi à des économies d'énergie possibles d'environ 43 milliards de B.T.U. par année même si les économies réelles se situent à environ 30 milliards de B.T.U./année à cause des fluctuations des conditions de traitement et des conditions ambiantes.

Dollars: 30 000 MMBtu = 30 000M pi³ @ $2 le Mpi³ = $60 000/année.

Coût des améliorations: Non disponible; cependant, le coût de l'échangeur à calandre qui chauffe le liquide équivaut à peu près à celui des purgeurs de vapeur, des soupapes de retenue, des évents thermostatiques, des dispositifs de purge des canalisations et des raccords de tuyauterie d'un système de traçage à la vapeur classique.

Recommandation: Étudier la possibilité de remplacer le traçage à la vapeur par une autre méthode. Les perspectives d'économie sont meilleures lorsque la température requise dans les canalisations de traitement est bien inférieure à celle que fournit normalement le traçage à la vapeur. En règle générale, plus basse est la température de traitement, plus les perspectives d'économie sont bonnes.

L'entretien des purgeurs de vapeur permet d'aller plus loin que la simple économie

Exposé du cas: La direction de l'usine *Maitland* de Dupont du Canada à Sarnia ne s'est jamais particulièrement souciée des purgeurs de vapeur. Elle a toujours remplacé systématiquement les dispositifs qui ne semblent pas étanches. Elle met généralement en oeuvre quelques programmes-éclair en automne mais ceux-ci cèdent habituellement le pas à des travaux d'entretien "plus importants".

L'usine a une centrale pourvue de six chaudières dont la production de vapeur s'élève à 815 000 livres à l'heure. La vapeur à 250 et 450 psig est distribuée dans les différents secteurs d'exploitation éparpillés sur une superficie d'une centaine d'acres. Le débit moyen annuel de vapeur est de 600 000 lb/h. Dans tous les calculs de pertes ou d'économies ci-après, on prend pour hypothèse un coût nominal de la vapeur de $1,90 le millier de livres.

Lors du lancement de son programme d'économie d'énergie, Dupont décide de débuter immédiatement par l'entretien des purgeurs de vapeur, mesure que la compagnie juge propre à rapporter rapidement des dividendes intéressants et à imprimer, de ce fait, un bon élan initial au programme pendant la mise au point et l'approbation de ses dernières modalités techniques. De plus, l'augmentation de la production laisse déjà entrevoir que l'entreprise aura de la difficulté à répondre aux besoins de vapeur au cours de l'hiver suivant et il est très probable que les mesures visant à économiser la vapeur se verront, à cause de cela, attribuer toutes les ressources nécessaires.

Après avoir consulté les fabricants de purgeurs de vapeur, on en arrive à la conclusion qu'on peut évaluer sans crainte d'exagération à 15 000 à 30 000 lb/h les pertes attribuables au mauvais fonctionnement des purgeurs de vapeur, ce qui représente 2½ à 5% de la production moyenne de vapeur et un gaspillage annuel de $250 000 à $500 000. Lors de ces études préliminaires, on constate également qu'il est plus probable que les pertes annuelles dépassent en réalité le million de dollars au lieu de s'établir à moins de $200 000. Il semble dès lors certain que l'on récupérera les dépenses prévues ($80 000 en main-d'oeuvre et en matériel) pour l'évaluation du programme pendant une période d'un an.

Ces mêmes études font clairement ressortir qu'un programme d'entretien des purgeurs de vapeur constituait le meilleur élément de base en vue d'une exploitation rationnelle de l'énergie chez Dupont.

Mesure prise: Deux mécaniciens sont affectés à temps plein à cette tâche et reçoivent une formation spécialisée pour leur permettre d'assumer leurs nouvelles fonctions de façon régulière et permanente. Ils sont assistés d'un ingénieur qui agit comme conseiller technique et les aide à résoudre les problèmes importants. Un chimiste manipulateur se joint plus tard à ce groupe lorsque la rentabilité du prcgramme est prouvée.

Pour faciliter le travail étant donné les expériences et les tests nécessaires pour mettre sur pied des systèmes d'identification et d'enregistrement des données, le champ d'application du programme est initialement circonscrit à un secteur d'exploitation qui comprend 60 à 70% des purgeurs de l'usine.

Il est jugé essentiel de disposer d'un système d'enregistrement des données efficace.
L'entreprise décide de classer les purgeurs selon leur emplacement au lieu de les considérer individuellement; on estime que cette méthode fera ressortir les emplacements où le travail des purgeurs est particulièrement difficile. On se fixe ensuite des objectifs qui excèdent l'élimination du chiffre total des pertes obtenu grâce à l'estimation modérée susmentionnée.

À court terme: — Économie de $350 000, la première année, soit une moyenne de 21 000 lb/h de vapeur.
—Réduction du débit de vapeur de 42 000 lb/h à la fin de l'année.

À long terme: — Acquisition de connaissances permettant d'améliorer le rendement des purgeurs tout en réduisant l'entretien grâce à:
—des purgeurs plus efficaces
—un meilleur choix des dimensions des purgeurs
—un meilleur choix des caractéristiques des purgeurs en fonction de la tâche qui leur est dévolue.
—Élaborer de meilleurs critères de sélection et d'installation pour les purgeurs dont seront dotées les nouvelles canalisations.

Mode opératoire:
—Étiquetage de chaque purgeur au moyen d'un ruban numéroté en acier inoxydable rattaché à la canalisation d'arrivée.
—Enregistrement de renseignements, entre autres:
—genre et taille des purgeurs installés;
—disposition de l'installation — verticale ou horizontale, écoulement ouvert ou fermé, présence de filtres et de soupapes de sectionnement.
—Mise à l'essai des purgeurs:
—Utilisation d'un stéthoscope (96% purgeurs à disque); on prévoit faire l'étude d'un détecteur ultrasonique.
—Utilisation d'un pyromètre pour certains purgeurs.
—Tracé des courbes des pressions pour les circuits d'eau de condensation lorsqu'il est possible que la contre-pression endommage les purgeurs.
—Critères concernant les purgeurs à disque défecteux:
—Passage de vapeur continu; "mitrailleuse" — cycle < 4 secondes sur un purgeur à disque de ½ pouce ou < 3 secondes sur un purgeur à disque de 3/8 de pouce. Cette norme provisoire sera probablement modifiée une fois obtenus les renseignements nécessaires pour la fonder sur une analyse économique.
—Les purgeurs défectueux sont remplacés lorsqu'on peut les isoler sans nuire au procédé industriel; tenir à jour un relevé des purgeurs remplacés en vue d'étudier les dossiers de base et d'estimer les économies de vapeur.
—Faire les corrections nécessaires en présence de dimensions excessives:
—Les purgeurs à disque de ½ pouce et les conduites de traçage sont automatiquement remplacés par d'autres de taille inférieure lorsqu'ils font défaut; les purgeurs de traitement trop gros sont signalés à l'attention de l'ingénieur qui prend les mesures nécessaires.
—Corriger les cas de mauvaise utilisation des purgeurs:
—Lorsque le type de purgeur utilisé pour une fin donnée, changer ce purgeur ou signaler la chose à l'ingénieur.
—Un rapport est rédigé et des recommandations sont faites par le personnel d'entretien lorsqu'il est question de modifications importantes dans la tuyauterie et qu'il faut procéder à un arrêt d'une opération ou à l'interruption de la production de vapeur.
—De plus, un programme expérimental est mis sur pied en vue d'étudier divers genres de purgeurs utilisés à diverses fins. Les résultats du programme serviront à élaborer des normes.
—Les purgeurs sont mis à l'essai sur un appareil qui permet de déterminer les caractéristiques de rendement et les pertes de vapeur dans diverses conditions de pression.

Économies d'énergie:
—Économie moyenne de vapeur la première année = 20 500 lb/h
—Objectif de 21 000/h
—Réduction de la production de vapeur à la fin de l'année = 50 400 lb/h
—Objectif de 42 000 lb/h de vapeur
—Réduction d'environ 35 000 barils grâce à l'entretien des purgeurs de vapeur, de la consommation de combustible de première qualité utilisé pour la production de vapeur.

Recommandation: Mettre en oeuvre un programme d'entretien des purgeurs de vapeur sans attendre de résultats immédiats. Au cours des premiers mois, il est possible que les économies cumulatives ne soient pas formidables. Cependant, tant que les purgeurs défectueux sont remplacés, il est certain que l'on épargne de la vapeur. La *Dupont* dans le cadre de son programme:

—a étendu l'entretien des purgeurs à toute l'usine et trois mécaniciens et un manipulateur ont été affectés à temps plein à cette tâche.
—a terminé trois cycles dans le secteur où le programme a débuté et la proportion de purgeurs défectueux est passée de 33% à 7%.
—a abaissé les besoins moyens de vapeur à 105 000 lb/h (17,5%), comparativement à la période correspondante avant la mise en application du programme; en revanche, le volume de production n'a diminué que de 0,2%. Les économies réalisées ne sont pas toutes imputables au programme d'entretien des purgeurs de vapeur car nombre d'autres initiatives ont été prises afin de réduire la consommation d'énergie. Il est cependant indubitable qu'il s'agit d'un des principaux facteurs. En argent, les économies de vapeur réalisées à ce jour atteignent 1,6 millions de dollars.
—L'entreprise commence à retirer les nombreux purgeurs à disque en se fondant sur les résultats du programme d'essai à pied d'oeuvre. L'objectif à long terme est de placer un purgeur à chaque endroit où il fournira un rendement optimum avec le minimum de fuites et la meilleure vie utile possible.

La compagnie *Dupont* a établi qu'au moins 70% des pertes de vapeur par des purgeurs défectueux pouvait être éliminé grâce à un programme d'entretien permanent. En plus des avantages économiques, le rendement amélioré de l'équipement, la prévention des dommages susceptibles de lui être causés ainsi qu'un meilleur contrôle de l'exploitation et du traitement pouvaient vraisemblablement justifier un programme axé uniquement sur l'entretien des purgeurs de vapeur.

Isolation de l'extérieur d'un réservoir d'eau de condensation

Exposé du cas: Un grand réservoir collecteur de l'eau de condensation (8 pieds de diamètre sur 14 pieds de long, 452 pieds^2), à l'usine Leamington de H.J. Heinz Limited, n'est pas colorifugé; d'importantes quantités de chaleur sont ainsi perdues dans l'atmosphère. Comme il coûtera trop cher de déménager le réservoir à l'intérieur et comme il existe une différentielle thermique annuelle moyenne (température de l'eau de condensation moins la température extérieure) de 60° C (140° F), l'entreprise juge nécessaire d'isoler le réservoir.

Mesure prise: Un entrepreneur est chargé d'ajouter un calorifugeage en fibre de verre au réservoir.

Économies réalisées
Énergie: La perte de chaleur différentielle moyenne pour l'isolation est calculée de façon suivante: 2,1 B.T.U./pi^2/h/1° F de différence de température.

Économies: 2,1 X 452 X 140 = 132 888 B.T.U/h.
= 132 888 X 24 X 365 = 1 164 030 pi^3/année
1000

Dollars: 1 164 030 pi^3/année = 1 164 000 pi^3/an @ $2 le millier pi^3 = $2 328/an.

Coût des améliorations: $2 600 fournissant un taux de rendement de l'investissement (en pieds cubes par jour) de plus de 50 pour cent.

Recommandation: Les prévisions relatives à la perte de chaleur donnent parfois des chiffres aussi bas que 1 B.T.U./pi^2/° F, mais si le manque d'espace ou d'autres facteurs empêchent de déménager à l'intérieur les installations chauffées, les réservoirs d'eau de condensation ou d'autres types de réservoir (qui doivent être chauffés pour les empêcher de geler), il faut étudier sérieusement la possibilité du calorifugeage. S'assurer également que les conduites de retour de l'eau de condensation sont bien isolées. *Heinz* a isolé deux autres réservoirs du même genre situés à l'intérieur de l'usine. Bien que les économies d'argent fournies par cette dernière mesure n'aient pas été aussi spectaculaires, les transformations étaient justifiables, en égard aux économies d'énergie.

Utilisation d'un réservoir de détente pour la récupération de la chaleur d'un système de peinture

Exposé du cas: L'usine *John Deere* Limited, de Welland, a saisi l'occasion il y a plusieurs années d'améliorer le rendement énergétique de son système de peinture en tirant un usage maximum de la vapeur disponible.

Mesure prise: La compagnie installe un réservoir de détente pour capter la vapeur de détente à basse pression (100 psig) provenant de l'eau de condensation chaude évacuée par les purgeurs de vapeur à haute pression. L'eau de condensation provenant des serpentins de vapeur dans les installations de lavage et de séchage ainsi que des fours à cuire, se retrouve dans le réservoir de détente à 2 psig; là, 13% de l'eau de condensation se transforme en vapeur. Cette vapeur de détente est absorbée dans le bac de lavage à 160° F, et fournit de l'eau d'appoint chaude et de la chaleur utile pour l'étape du lavage. Une soupape à flotteur draine une partie de l'eau de condensation du réservoir de détente dans le réservoir de lavage où elle sert d'eau d'appoint chaude; le reste est pompé à nouveau jusqu'à la chaudière. L'installation est faite au cours des heures normales de travail sans interruption des opérations de peinture; seuls les derniers raccords de la tuyauterie sont mis en place pendant le week-end.

Économies réalisées
Énergie: Environ 14 000 MMBtu/an.

Dollars: Environ $28 000/an.

Coût des améliorations: $4 500 (en 1967), somme qui est récupérée en moins d'un an.

Recommandation: Chercher les moyens d'utiliser la vapeur de détente de l'eau de condensation recueillie par les purgeurs de vapeur. Vous réussirez probablement à récupérer votre investissement en moins d'un an grâce à la diminution de vos factures d'énergie.

La vérification aboutit à une réduction de la pression de vapeur

Exposé du cas: Une vérification de l'énergie produite par la vapeur est effectuée à Kitchener, en Ontario, à l'usine de *B.F. Goodrich Limited*; à cette occasion, les besoins de l'usine sont comparés au débit de la chaufferie. Le coordonnateur de l'usine en matière d'utilisation d'énergie procède à une étude qui tient compte de toutes les caractéristiques importantes du système de production et de distribution de vapeur: diamètre des canalisations, type de calorifugeage, pression, position des purgeurs de vapeur, endroit et position des postes de régulation, etc. Il y calcule ou mesure les consommations de vapeur.

Mesure prise: L'étude du système de vapeur fait ressortir que même si aucune machine de production n'a besoin de plus de 150 psig, les chaudières produisent plus de 225 psig. On tente donc de réduire graduellement la pression de refoulement des chaudières à 150 psig (200 psig, 180 psig, etc.). Après chaque réduction, le département de la production est consulté pour voir si elle a eu des effets néfastes sur les opérations. À 170 psig, les ingénieurs constatent que la pression plus basse et l'allure de chauffe plus forte rend difficile de régler les turbines des chaudières. La compagnie tient maintenant la pression de vapeur à 180 psig; ainsi, le taux d'évaporation est meilleur.

Économies réalisées
Énergie: Étant donné la difficulté d'isoler les effets particuliers des diverses mesures d'économie d'énergie prises simultanément, il est impossible de fournir des chiffres exacts. Cependant, compte tenu de la réduction du travail des chaudières, de l'accroissement du taux d'évaporation, de la diminution de la déperdition de chaleur dans les canalisations et des pertes de pression par les fuites et les purgeurs défectueux, etc., l'économie d'énergie peut être estimée à 5 770 millions de B.T.U. par année.

Dollars: (en MMBtu/an) 5 570 000 pi^3/an @ $2/1000 pi^3 =$11 140/an.

Coût des améliorations: Le temps du personnel de l'usine.

Recommandation: Étudier le système de vapeur de l'usine en s'attachant particulièrement à réduire la pression; trouver et réparer les fuites ainsi que les purgeurs défectueux et examiner le réseau de canalisations de vapeur afin d'éliminer les boucles inutiles. Procéder de la même façon avec le circuit d'air comprimé.

Eau de refroidissement des compresseurs utilisée comme eau d'appoint des chaudières

Exposé du cas: Les recommandations des fabricants d'utiliser de l'eau adoucie pour refroidir les compresseurs rotatifs à vis amène la direction de *Libby, McNeil & Libby of Canada Limited* à étudier un système par lequel l'eau de refroidissement adoucie des compresseurs est récupérée et la chaleur qu'elle contient utilisée. La température moyenne de l'eau à son entrée dans le compresseur est d'environ 7° C et sa capacité calorifique, de 13,06 B.T.U./lb. Après le refroidissement du compresseur, les 499,8 gal/h d'eau atteignent 91°C, avec une capacité calorifique de plus de 149,91 B.T.U./lb.

Mesure prise: L'entreprise installe la tuyauterie et l'équipement nécessaires pour utiliser les quelque 500 gal/mn d'eau de refroidissement des compresseurs comme eau d'appoint pour l'alimentation des chaudières.

Économies réalisées
Énergie: Chaleur disponible = 499,8 gal/h X 8,3 lb/gal = 4 150 lb/h @ 150 B.T.U./lb = 622 500 B.T.U./h.

Cependant, étant donné que l'eau de refroidissement récupérée doit être réutilisée à nouveau pour refroidir la tuyauterie de retour de l'eau de condensation de l'équipement de traitement, on a décidé de ne pas isoler la tuyauterie de transport entre le compresseur et la pompe à vide de la canalisation principale d'eau de condensation. La perte nette provenant de ces tuyaux s'élève à 22,620 B.T.U./h, laissant un gain net de 622 500 – 22 620 = 599 880 B.T.U./h. Pendant une période d'un an (8 000 h d'exploitation): chaleur conservée = 599 880 X 8 000 = 4,8 MMMBtu/h
Eau conservée = 499,8 X 8 000 = 3 998 400 gal/an.

Dollars: Chaleur: 4,8 MMMBtu = 4 800 000 pi^3 @ $2/1000 pi^3 = $9600/an.
Eau: $3 233/an.
Total: $12 833/an.

Coût des améliorations: $800.

Recommandation: Ne pas oublier que l'eau de refroidissement des compresseurs (et refroidissement adoucie) convient particulièrement bien comme eau d'alimentation des chaudières. L'installation d'un système de récupération adéquat rapporte généralement des dividendes intéressants pendant fort longtemps.

Gaz du carneau de l'incinérateur utilisés pour la production de vapeur

Exposé du cas: Un fabricant de bitume pour le revêtement de toîtures élimine 16 000 pi^3 /mn d'air saturé de bitume en brûlant le mélange dans un incinérateur à 730° C. Les gaz d'échappement de l'incinérateur sont libérés dans l'atmosphère alors que l'entreprise achète d'une usine voisine 15 000 lb/h de vapeur à 150 psig.

Mesure prise: En se fondant sur les résultats d'une étude sommaire qui indique que les gaz du carneau peuvent servir à produire plus de vapeur qu'il n'en faut à l'entreprise, la direction procède à l'installation d'un chaudière de récupération de la chaleur perdue dans la cheminée de l'incinérateur, en se servant en même temps d'eau d'alimentation à 94° C disponible dans un autre secteur de l'usine.

Économies réalisées
Énergie: Pour produire une livre de vapeur à 150 psig (186° C) à partir d'une livre d'eau à 94° C, il faut 1026 B.T.U. La chaleur nécessaire pour produire 1 500 lb de vapeur = 1036 B.T.U./lb X 15 000 lb/h = 15,39 MMBtu/h. Le débit des gaz du carneau à une densité gazeuse de 0,0763 lb/pi^3 et dans des conditions normales se calcule comme il suit = 16 000 pi^3/mn X 0,0763 lb/pi^3 X 60 mn/h = 73 248 lb/h. Étant donné une perte de chaleur de 2 p. 100 et une pression constante = 0,28 B.T.U./lb ° C, la chute de température nécessaire dans les gaz du carneau =

$$\frac{\text{15 540 B.T.U./h}}{\text{0.28 B.T.U./1° F} \times \text{73 248 lb/h} \times (1 - 0.02)} = 773° \text{ F}$$

Cela signifie que les gaz du carneau n'ont qu'à être refroidis à 1 400 – 773 = 334° C pour produire les 15 000 lb/h nécessaires de vapeur à 150 psig.

Économies réalisées

Dollars: Exploitation de 3 000 heures par année = 15 000 lb/h X $1/1000 lb X 3 000 = $45 000 par année. Si les gaz de carneau sont refroidis, disons à 204° C, un total de 19 400 lb/h de vapeur peut être produit, ce qui donne une économie totale de plus de $58 200/an.

Coût des améliorations: $37 000. Même au débit de vapeur le plus faible, l'investissement est récupéré en moins d'un an.

Recommandation: Vérifier les sorties d'échappement de l'usine dont les températures dépassent 149° C; elles peuvent être utilisées comme source de chaleur pour la production de vapeur. Il faut également songer à vendre le surplus de vapeur à une usine avoisinante. Ne pas oublier que le fait d'abaisser la température des gaz de carneau en dessous de 149° C peut créer souvent des problèmes de corrosion du fait de la condensation des parties constituantes des gaz brulés.

Réparation rapide des fuites de vapeur

Exposé du cas: Dans certains départements de la *Dominion Foundries and Steel Limited (DOFASCO)* à Hamilton, la réparation des fuites de vapeur se fait après avoir mis les conduites de vapeur hors service. Cette méthode crée souvent des problèmes, particulièrement dans les secteurs qui dépendent d'une seule conduite de vapeur.

Mesure prise: La compagnie décide alors de faire réparer les fuites de vapeur sans interrompre l'exploitation du circuit par un entrepreneur venant de l'extérieur qui dispose de l'équipement nécessaire. Les problèmes d'emploi du temps sont ainsi réglés et les fuites réparées plus rapidement qu'elles ne l'étaient auparavant.

Économies réalisées
Énergie: Grâce à ce service de réparation en cours d'exploitation, *DOFASCO* estime gagner 1 500 lb/h de vapeur supplémentaires.
1 500 lb/h X 1 300 B.T.U./lb X 8 760 h/an – 0,8 (rendement de la chaudière) = 21 350 MMBtu/an de combustible.

Dollars: 21 350 MMBtu/an X $2/million B.T.U. = $42 700/an.
L'entreprise chargée des réparations a éliminé 30 fuites au cours de l'année. Le coût estimatif des réparations effectuées par le spécialiste est de $3 000 à $5 000.
Économie nette: environ $38 000/année.

Recommandation: Étudier la possibilité d'engager un spécialiste dans le domaine des fuites de vapeur. Le recours à des spécialistes contractuels capables de réparer les fuites sans interrompre l'exploitation des canalisations s'est avéré rentable pour *DOFASCO*. Il s'agit d'une bonne façon d'éliminer les fuites de vapeur rapidement.

Perte de vapeur de détente réduite grâce à la pulvérisation d'eau

Exposé du cas: À l'usine de *Cleyn et Tinker Limitée* de Huntingdon, au Québec, le personnel technique constate une perte d'énergie considérable dans l'atmosphère, due à une fuite de la vapeur de détente; la fuite se produit par un évent situé sur le réservoir de retour de l'eau de condensation à 5 — 10 lb/po^2 du circuit de vapeur de la compagnie qui est à 125 lb/po^2.

Mesure prise: Sur les conseils d'une autre entreprise, on installe un simple système de pulvérisation par lequel 80 gal/h d'eau déminéralisée à 10° C provenant des installations de traitement (fonctionnant à la pression de l'eau municipale) sont pulvérisés dans le réservoir au moyen de pulvérisateurs. Grâce à ce procédé, on réussit à réduire au minimum la perte de vapeur et

de chaleur latente par l'évent. Par la même occasion, il permet d'obtenir 80 gal/mn d'eau d'alimentation traitée des chaudières, réchauffée à 100° C (la température de l'eau de condensation dans le réservoir).

Économies réalisées
Énergie: Données générales: chaleur récupérée = 80 gal/h = 800 lb/h X 60 mn/h X 24 h/jour X 6 jours/semaine X 50 semaines/année X (100 — 10)° C — 0,933 MMBtu/an.

Dollars: 0,933 million B.T.U./an = 5 060 gal/an de mazout lourd "C" @ 35¢/gal = $1 771,17/an.
Économies d'eau et dépenses de réchauffage: $357,09/an.
Économies totales — $2 118,26/an.

Recommandation: Utiliser des systèmes de pulvérisation d'eau déminéralisée afin de réduire les pertes de vapeur de détente, si celle-ci ne peut pas être utilisée à d'autres fins plus rentables. *Cleyn et Tinker* soulignent l'importance d'obtenir une fine buée de pulvérisation et d'avoir un filtre particulièrement fin qui permet d'enlever toute matière en suspension avant que l'eau n'atteigne le pulvérisateur. Non seulement la vapeur de détente contient-elle de la chaleur latente mais aussi peut-elle servir d'eau d'alimentation prétraitée. L'eau qu'on utilise pour la refroidir serait de toute façon destinée à servir d'eau d'alimentation, mais il faudrait autrement la réchauffer (elle est à la température de l'eau municipale) dans la chaudière.

Économies d'énergie grâce à la réduction de la pression d'air comprimé durant les week-end

Exposé du cas: Dans une usine de *General Motors*, on fournit de l'air comprimé à 100 lb/po² dans tous les secteurs de l'usine 24 heures par jour, à longueur d'année, sans égard aux besoins.

Mesure prise: La pression d'air comprimé est réduite à 40 lb/po², c'est-à-dire au minimum admissible pour assurer une exploitation continue des pompes de peinture qui agitent les mélanges de peinture métallique pendant les week-end et les périodes prolongées de ralentissement des activités.

Économies réalisées
Énergie: Consommation antérieure: 15 000 pi³/mn X 9,5 B.T.U./pi³ X 60 mn/h X 24 h/jour X 365 jours/an = 75 000 MMBtu/an.
Consommation actuelle: 56 000 MMBtu/an.
Économie: 75 000 -56 000 = 19 000 MMBtu/an.

Dollars: 19 000 MMBtu/an = 5,6 million Kwh/an @ 0,025 Kwh = $140 000/an.

Coût des améliorations: Aucun.

Recommandation: Abaisser la pression d'air comprimé et de la vapeur aux niveaux les plus bas possibles au cours des périodes où l'usine fonctionne au ralenti. Aucun investissement n'est nécessaire pour réaliser ainsi de véritables économies d'énergie.

Quelques trucs utiles pour économiser de l'argent avec les systèmes à vapeur et à air comprimé

1. Calorifuger parfaitement toutes les conduites de vapeur et d'eau de condensation ainsi que l'équipement de traitement.
2. Couvrir et isoler les réservoirs d'eau de condensation.
3. Réparer ou remplacer les purgeurs de vapeur défectueux.
4. Réparer toutes les fuites de vapeur, y compris aux brides et les postes de réduction de haute pression.
5. Assurer l'entretien des éjecteurs à vapeur utilisés dans les systèmes à vide.
6. S'assurer que les chaudières fournissent un rendement maximum.
7. Garder les surfaces des tubes bouilleurs propres.
8. Retourner l'eau de condensation à la chaudière ou utiliser l'eau de refroidissement pré-adoucie des compresseurs, etc. comme eau d'alimentation pour réduire la purge ainsi que la consommation totale d'eau et d'énergie.
9. Contrôler l'analyse chimique de la purge des chaudières.
10. Récupérer l'énergie perdue à la purge à l'aide d'échangeurs de chaleur ou de réservoirs de détente.
11. Utiliser des réchauffeurs d'air et des économiseurs pour récupérer la chaleur des gaz de carneau des chaudières.
12. Diminuer le trajet que la vapeur doit parcourir en redisposant l'équipement de traitement tout en éliminant l'éparpillement des conduites latérales de vapeur.
13. Utiliser des soupapes de sectionnement pour diviser le système de distribution de vapeur.
14. Utiliser la plus basse température admissible pour les opérations de chauffage à la vapeur.
15. Abaisser les pressions de vapeur dans la mesure du possible.
16. Utiliser des purgeurs de vapeur et des évents à pression équilibrée pour éliminer les films d'air dans les conduites de vapeur.
17. Utiliser la vapeur de détente pour des applications à basse pression.
18. Lorsqu'il est impossible de retourner l'eau de condensation à la chaudière, utiliser celle-ci pour le lavage ou toute autre opération.
19. Couper la vapeur dans les conduites de traçage par température douce.
20. Remplacer les systèmes de traçage à la vapeur par des systèmes au glycol.
21. Remplacer les moteurs électriques par des turbines à vapeur à contre-pression et avoir recours à la vapeur d'échappement pour obtenir la chaleur de traitement.
22. Faire fonctionner les colonnes de distillation pour qu'elles fournissent une qualité suffisante.
23. Faire fonctionner les colonnes de distillation au niveau de déversement le plus haut afin d'arriver à un maximum de séparation.
24. Déterminer l'endroit exact des plateaux d'alimentation des colonnes de distillation afin d'augmenter leur rendement et de réduire la consommation de vapeur.
25. Changer des unités de distillation par entraînement à la vapeur d'une vapeur directe (vive) à une distillation indirecte (sèche).
26. Utiliser des purgeurs de vapeur de dimensions adéquates.
27. Étudier la possibilité de remplacer la source d'entraînement de l'équipement rotatif des turbines à vapeur par des moteurs électriques si l'usine peut produire son électricité.
28. Ajouter des purgeurs à la colonne de distillation afin de réduire le taux de reflux.
29. Diminuer la purge de la chaudière grâce à un meilleur traitement de l'eau de l'alimentation.
30. Utiliser la vapeur à basse pression de la chaleur perdue pour la réfrigération à absorption.
31. Remplacer les condenseurs barométriques par des condenseurs à surface.
32. Fermer les purgeurs de vapeur des canalisations de vapeur surchauffée lorsque l'on ne les utilisent pas.
33. Améliorer le fonctionnement des éjecteurs à vapeur à plusieurs étages.
34. Utiliser les isolants les plus épais possibles.
35. Se servir du réglage du taux de reflux ou d'un contrôle semblable au lieu du contrôle du débit sur les tours de distillation.
36. Substituer les liquides chauds de traitement par la vapeur.

Air comprimé

1. Choisir un compresseur central plutôt qu'un certain nombre de petits compresseurs de zones.
2. Choisir le compresseur avec le taux de pi^3/mn le plus élevé par rapport à la puissance au frein.

3. Choisir une entrée d'air qui fournisse un air sec et propre.
4. Assurer l'entretien des courroies de commande d'entraînement des compresseurs ainsi que de toutes les autres pièces maîtresses.
5. S'assurer que les conduites d'eau de refroidissement ne sont pas obstruées.
6. Utiliser des réservoirs collecteurs plus larges ou des réservoirs supplémentaires sur les compresseurs existants.
7. Étudier les divers circuits de contrôle automatiques possibles.
8. Fournir les appareils de mesure de base afin de calculer l'efficacité des systèmes.
9. Réparer rapidement toutes les fuites des canalisations dans le cadre d'un programme d'entretien régulier.
10. Utiliser dans la mesure du possible des coudes à grand rayon et des joints soudés dans le réseau de tuyauterie.
11. Incorporer des filtres et des graisseurs dans chaque dispositif pneumatique.
12. Assurer un entretien régulier de l'équipement pneumatique de même des "unités de conditionnement", filtres, régulateurs de pression et graisseurs.
13. Ne pas mettre en marche l'équipement au-dessus de la pression de fonctionnement recommandée par le fabricant.
14. Réduire la pression d'air au niveau le plus bas possible.
15. Penser à l'utilisation de cylindres à double effet.
16. Utiliser l'air chaud de réservoirs collecteurs à distance près des foyers de charges périodiques.
17. Utiliser l'air chaud provenant des compresseurs refroidis à l'air pour le chauffage, lorsque c'est rentable.
18. L'eau de refroidissement provenant des compresseurs refroidis à l'eau offre de nombreuses possibilités dans l'usine.

Table de vapeur (unités imperiales)

Pression Manométrique (psig)	Température de saturation au d'ébullition (Degrés F)	Volume Spécifique (Pi Cu/lb)	Capacité thermique au-dessus de 0° C		
			Chaleur sensible ou chaleur du liquide (BTU/lb)	Chaleur latente ou chaleur d'évaluation (BTU/lb)	Chaleur Totale (BTU/lb)
0	212.0	26.80	180.1	970.3	1150.4
1	215.5	25.13	183.6	968.1	1151.7
2	218.7	23.72	186.8	966.0	1152.8
3	221.7	22.47	189.8	964.1	1153.9
4	224.5	21.35	192.7	962.3	1155.0
5	227.3	20.34	195.5	960.5	1156.1
6	229.9	19.42	198.2	958.8	1157.0
7	232.4	18.58	200.7	957.2	1157.9
8	234.9	17.81	203.2	955.6	1158.8
9	237.2	17.11	205.6	954.1	1159.7
10	239.5	16.46	207.9	952.5	1160.4
11	241.7	15.86	210.1	951.1	1161.2
12	243.8	15.31	212.2	949.7	1161.9
13	245.9	14.79	214.3	948.3	1162.6
14	247.9	14.31	216.4	946.9	1163.2
15	249.8	13.86	218.3	945.6	1163.9
16	251.7	13.43	220.3	944.3	1164.6
17	253.6	13.03	222.2	943.0	1165.2
18	255.4	12.66	224.0	941.8	1165.8
19	257.1	12.31	225.7	940.6	1166.3
20	258.8	11.98	227.5	939.5	1167.0
21	260.5	11.67	229.2	938.3	1167.5
22	262.2	11.37	230.9	937.2	1168.1
23	263.8	11.08	232.5	936.1	1168.6
24	265.4	10.82	234.1	935.0	1169.1
25	266.9	10.56	235.6	934.0	1169.6
30	274.1	9.45	243.0	928.9	1171.9
35	280.7	8.56	249.8	924.2	1174.0
40	286.8	7.82	256.0	919.8	1175.8
45	292.4	7.20	261.8	915.7	1177.5
50	297.7	6.68	267.2	911.8	1179.0
55	302.7	6.23	272.4	908.1	1180.5
60	307.3	5.83	277.2	904.6	1181.8
65	311.8	5.49	281.8	901.3	1183.1
70	316.4	5.18	286.2	898.0	1184.2
75	320.1	4.91	290.4	894.8	1185.2
80	323.9	4.66	294.4	891.9	1186.3
85	327.6	4.44	298.2	899.0	1187.2
90	331.2	4.24	301.9	886.1	1188.0
95	334.6	4.06	305.5	883.3	1188.8
100	337.9	3.89	308.9	880.7	1189.6
105	341.1	3.74	312.3	878.1	1190.4
110	344.2	3.59	315.5	875.5	1191.0
115	347.2	3.46	318.7	873.0	1191.7
120	350.1	3.34	321.7	870.7	1192.4
125	352.9	3.23	324.7	868.3	1193.0
130	355.6	3.12	327.6	865.9	1193.5
135	358.3	3.02	330.4	863.7	1194.1
140	360.9	2.93	333.1	861.5	1194.6
145	363.4	2.84	335.8	859.3	1195.1
150	365.9	2.76	338.4	857.2	1195.6
155	368.3	2.68	340.9	855.0	1195.9
160	370.6	2.61	343.4	853.0	1196.4
165	372.9	2.54	345.9	850.9	1196.8
170	375.2	2.47	348.3	848.9	1197.2
175	377.4	2.41	350.7	846.9	1197.6
180	379.5	2.35	353.0	845.0	1198.0
185	381.6	2.30	355.2	843.1	1198.3
190	383.7	2.24	357.4	841.2	1198.6
195	385.8	2.19	359.6	839.2	1198.8
200	387.8	2.13	361.9	837.4	1199.3
210	391.7	2.04	366.0	833.8	1199.9
220	395.5	1.95	370.1	830.3	1200.4
230	399.1	1.88	374.1	826.8	1200.9
240	402.7	1.81	377.8	823.4	1201.3
250	406.1	1.74	381.6	820.1	1201.7
260	409.4	1.68	385.2	816.9	1202.1
270	412.6	1.62	388.7	813.7	1202.4
280	415.7	1.56	392.1	810.5	1202.7
290	418.8	1.52	395.5	807.5	1202.9
300	421.8	1.47	398.7	804.5	1203.2
400	448.2	1.12	428.1	776.4	1204.6
500	470.0	0.90	452.9	751.3	1204.3
600	488.8	0.75	474.6	728.3	1202.9

USAGE DANS LE SI

Quelques unités SI dérivées

Grandeur	Nom de l'unité	Symbole	Equivaut à
force	newton	N	$kg \cdot m/s^2$
pression	pascal	Pa	N/m^2
travail, énergie, quantité de chaleur	joule	J	N·m
puissance, flux énergétique thermique	watt	W	J/s
quantité d'électricité	coulomb	C	A·s
potentiel électrique	volt	V	W/A
résistance électrique	ohm	Ω	V/A
capacité électrique	farad	F	C/V
flux d'induction magnétique	weber	Wb	V·s
induction magnétique	tesla	T	Wb/m^2
inductance	henry	H	Wb/A
fréquence	hertz	Hz	s^{-1}
flux lumineux	lumen	lm	cd·sr
éclairement	lux	lx	lm/m^2

Exemples d'unités SI dérivées exprimées en termes d'autres unités

Grandeur	Description	Expression en d'autres unités SI
superficie	mètre carré	m^2
volume	mètre cube	m^3
vitesse — linéaire — angulaire	mètre par seconde radian par seconde	m/s rad/s
accélération — linéaire — angulaire	mètre par seconde carrée radian par seconde carrée	m/s^2 rad/s^2
masse volumique	kilogramme par mètre cube	kg/m^3
viscosité dynamique	pascal-seconde	Pa.s
moment d'une force	newton-mètre	N.m
densité de flux thermique, éclairement énergétique	watt par mètre carré	W/m^2
capacité thermique, entropie	joule par kelvin	J/K
chaleur massique, entropie massique	joule par kilogramme kelvin	J/(kg K)
énergie massique	joule par kilogramme	J/kg
conductivité thermique	watt par mètre-kelvin	W/(m.K)
énergie volumique	joule par mètre cube	J/m^3
perméabilité	henry par mètre	H/m
résistance thermique (R)	mètre-kelvin carré par watt	$m^2.K/W$.

Unités SI en équivalence communément employées et leurs facteurs de conversion

1 pouce = 25 mm	1 verge cube = 0.76 m^3
1 pied = 0.30 m	1 pinte (liq) = 1.1 L
1 verge = 0.91 m	1 gallon = 4.5 L
1 mille = 1.6 km	1 once = 28 g
1 pouce carré = 6.4 cm^2	1 livre = 45 kg
1 verge carré = 0.84 m^2	1 horsepower (R-U) = 745 W
1 acre = 0.40 ha	1 livre-force = 4.4 N
1 pouce cube = 16 cm^3	1 livre-force par pouce carré = 6.8 kPa
1 pied cube = 28 dm^3	

Prefixes SI

Facteur de multiplication	Préfixe	Symbole
1 000 000 000 000 000 000 = 10^{18}	exa	E
1 000 000 000 000 000 = 10^{15}	peta	P
1 000 000 000 000 = 10^{12}	tera	T
1 000 000 000 = 10^{9}	giga	G
1 000 000 = 10^{6}	mega	M
1 000 = 10^{3}	kilo	k
100 = 10^{2}	hecto	h
10 = 10^{1}	deca	da
0.1 = 10^{-1}	deci	d
0.01 = 10^{-2}	centi	c
0.001 = 10^{-3}	milli	m
0.000 001 = 10^{-6}	micro	μ
0.000 000 001 = 10^{-9}	nano	n
0.000 000 000 001 = 10^{-12}	pico	p
0.000 000 000 000 001 = 10^{-15}	femto	f
0.000 000 000 000 000 001 = 10^{-18}	atto	a

Unités pouvant être utilisées avec les unités SI

Grandeur	Nom	Symbole	Définition
temps	minute heure jour	min h d	1 min = 60 s 1 h = 3600 s 1 d = 86 400 s
angle plan	degré minute seconde	° ' "	1° = (π/180) rad 1' = (π/10 800) rad 1" = (π/648 000) rad
superficie	hectare	ha	1 ha = 1 hm^2 = 10 000 m^2
volume	litre	L	1 L = 1 dm^3
température	degré Celsius	°C	pour les intervalles de température 1°C = 1 K
masse	tonne	t	1 t = 1000 kg = 1 Mg